

625 35  
WAR

p e1



**PENGARUH BAHAN TAMBAH GILSONITE PADA  
ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (ACWC1)  
TERHADAP NILAI PROPERTIES MARSHALL DAN  
MODULUS KEKAKUAN**

**TESIS**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

**Joko Wardoyo**

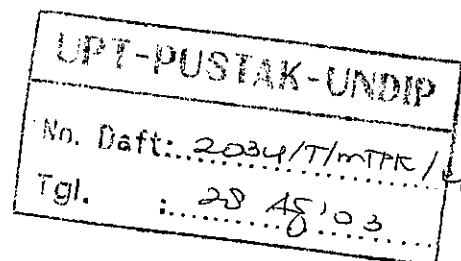
**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

2003

**UPT-PUSTAK-UNDIP**

**PENGARUH BAHAN TAMBAH GILSONITE PADA  
ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (ACWC1)  
TERHADAP NILAI PROPERTIES MARSHALL DAN  
MODULUS KEKAKUAN**

TESIS



Disusun oleh:

**Joko Wardoyo**

**L.4A.001.009**

Disetujui untuk Dipresentasikan

Pembimbing I

  
**Ir. Muhrozi, MS**

Pembimbing II

  
**Drs. Bagus Priyatno, ST, MT**

**PENGARUH BAHAN TAMBAH GILSONITE PADA  
ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (ACWC1)  
TERHADAP NILAI PROPERTIES MARSHALL DAN  
MODULUS KEKAKUAN**

Disusun oleh :

**Joko Wardoyo**

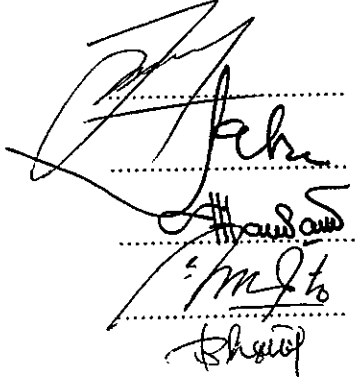
**L.4A.001.009**

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :  
30 Juni 2003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji

1. Ketua : Ir. Muhrozi, MS
2. Sekretaris : Drs. Bagus Priyatno, ST, MT
3. Anggota 1 : Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M. Sc
4. Anggota 2 : Ir. Djoko Purwanto, MS
5. Anggota 3 : Bagus Hario Setiaji, ST, MT

  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Semarang, 2003

Universitas Diponegoro  
Program Pasca Sarjana  
Magister Teknik Sipil



## ABSTRACT

Aggregate super pave gradation, which is used on upper layer of mixed asphalt aggregate, is aimed to increase its performance by controlling permanent deformation (rutting), low temperature cracking and fatigue cracking. Super pave gradation identified by control points and restricted area.

Gilsonite material, which is mine product in United State and it is sold on market, is used to improve mixed asphalt to aggregate performance. Application of gilsonite in Pen 60/70 is aimed to reduce its sensitivity to temperature decreasing, as Indonesia is located on tropical Climate.

This research is carried out on mixed surface layer of ACWC1 aggregate with maximum size 19 mm by using PRD. Variation of gilsonite increment are 0%, 2%, 4%, 6%, 8% to total asphalt content and variation of temperature are 20° C, 40° C, and 60° C. The result of Marshall experiment is used to analyses modulus stiffness of mixed by Brown and Brunton method (1984). The effect of gilsonite on ACWC1 is proved statistically by using correlation and regression at significant level  $\alpha = 0,05$ .

Marshall experiments on ACWC1 obtained the optimum asphalt content of 5,9% to total mixed. Additional of 0%, 2%, 4%, 6%, 8% gilsonite cause increasing density till 2,390 gr/cc at 8% gilsonite, reducing VIM value till the lowest at 2,74% for 8% gilsonite, reducing VMA with the lowest at 14,32%, increasing VFA with the highest at 80,86%, the highest stability at 1.922,40 kg., reducing flow with the lowest at 2,04 mm and Marshall Quotient increasing with the highest at 875 kg/mm.

The increment of modulus stiffness ratio, between additional 2%, 4%, 6%, 8% gilsonite and 0% gilsonite at temperature 20° C are 0,998; 1,199; 1,306; 1,556; and at temperature 40° C are 1,202; 1,729; 2,305; 3,148. Modulus stiffness at 60° C could not be identified by Brown and Burton Method as the mixed is unelastic condition. Significant level of one side correlation coefficient for probability side of temperature is -0,000, gilsonite is 0,005 which mean there is correlation and have the real quality. For  $f$  (calculated) = 248,495 >  $f$ (table) = 3,905, significant level  $0,00 < 0,05$  indicates that gilsonite and temperature together give effects on modulus stiffness.

Additional of gilsonite material on ACWC1 can be used to increase its performance and its suitable for heavy traffic and hot climate. The amount of gilsonite used have to be considered so that ACWC1 still in flexible condition.

## ABSTRAKSI

Agregat bergradasi superpave yang digunakan pada lapis permukaan campuran agregat aspal bertujuan untuk meningkatkan kinerja campuran tersebut dengan mengontrol deformasi permanen (*rutting*), retak pada temperatur rendah (*low temperature cracking*), dan keretakan akibat kelelahan (*fatigue cracking*). Gradasi superpave ditandai dengan adanya titik-titik kontrol dan daerah penolakan.

Bahan gilsonite merupakan hasil tambang di Amerika Serikat dan banyak dijual dipasaran, dengan maksud untuk memperbaiki kinerja campuran, penggunaan bahan tambang gilsonite pada aspal pen 60/70 agar kepekaan terhadap temperatur berkurang mengingat iklim tropis di Indonesia.

Penelitian dilakukan terhadap campuran lapis permukaan ACWC1 ukuran agregat maksimum 19 mm dengan metode kepadatan mutlak. Variasi penambahan gilsonite adalah 0%, 2 %, 4 %, 6 %, 8 % terhadap total kadar aspal dengan variasi temperatur 20° C, 40° C, 60° C. Hasil uji Marshall digunakan untuk menganalisis modulus kekakuan campuran metode Brown dan Bruton (1984). Untuk membuktikan pengaruh gilsonite terhadap ACWC1 dilakukan pendekatan statistik dengan uji korelasi dan regresi tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$ .

Hasil penelitian percobaan Marshall pada kadar optimum 5,9% terhadap total campuran, penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, 8% gilsonite mengakibatkan kenaikan density hingga 2,390 gram/cc pada 8% kadar gilsonite. Nilai *VIM* mengalami penurunan dan terendah adalah 2,74% pada 8% gilsonite. *VMA* mengalami penurunan terendah 14,32%, *VFA* mengalami kenaikan tertinggi 80,86%, stabilitas tertinggi 1922,40 kg, *flow* mengalami penurunan terendah 2,04 mm, *Marshall Quotient* mengalami kenaikan tertinggi 875 kg per mm.

Terjadi peningkatan rasio modulus kekakuan dengan penambahan 2%, 4%, 6%, 8% gilsonite terhadap 0% gilsonite pada temperatur 20°C adalah 0,998; 1,199; 1,306; 1,556; dan pada temperatur 40° C adalah 1,202; 1,729; 2,305; 3,148. Untuk temperatur 60° C nilai modulus kekakuan tidak dapat dihasilkan oleh metode Brown dan Brunton (1984) karena campuran sudah tidak berada dalam kondisi elastis. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari segi probabilitas untuk temperatur = - 0,000 , gilsonite = 0,005 berarti mempunyai hubungan dan bersifat nyata. Untuk  $f(\text{hitung}) = 248,495 > f(\text{tabel}) = 3.905$  tingkat signifikansi  $0.00 < 0.05$  menandakan bahwa gilsonite dan temperatur bersama-sama memberikan pengaruh terhadap modulus kekakuan.

Sehingga bahan tambah gilsonite dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja campuran ACWC1 dan cocok untuk lalu lintas berat dan iklim panas. Perlu diperhatikan jumlah gilsonite yang dipergunakan agar ACWC1 masih tetap dalam kondisi fleksibel.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas perkenannya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “ Pengaruh Bahan Tambah Gilsonite Pada Asphalt Concrete Wearing Course (ACWCI) Terhadap Nilai Properties Marshall Dan Modulus Kekakuan “.Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Selama menyelesaikan tesis ini, penulis banyak menerima kritikan, saran, petunjuk, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M. Eng, selaku Ketua Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
  2. Bapak Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA, selaku sekretaris Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
  3. Bapak Ir. Muhrozi, MS selaku dosen pembimbing I tesis, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis.
  4. Bapak Drs. Bagus Priyatno, ST, MT. selaku dosen pembimbing II tesis, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis.
  5. Ibu Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc; bapak Ir. Djoko Purwanto, MS; bapak Bagus Hario Setiadji, ST, MT selaku Tim Pembahas/Penguji.
  6. Para dosen dan staf Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
  7. Pimpinan dan staf Laboratorium Teknik Sipil Akademi Teknologi Semarang.
  8. Isteri dan anak anak tercinta yang selalu memberikan dorongan dan semangat.
  9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.
- Mudah- mudahan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan .

Semarang, juni 2003

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	i
ABSTRAKSI .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Aspal .....	4
2.2 Gilsonite .....	5
2.3 Agregat Dan Gradasi .....	6
2.3.1 Agregat .....	6
2.3.2 Gradasi .....	7
2.4 Persyaratan Campuran .....	10
2.5 Modulus Kekakuan .....	13
2.5.1 Modulus Kekakuan Aspal .....	14
2.5.2 Modulus Kekakuan Campuran .....	17
2.5.3 Hipotesis .....	18
2.6 Penelitian yang Pernah Dilakukan .....	20
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>21</b>
3.1 Metode Dan Disain .....	21
3.2 Bahan Penelitian .....	23
3.3 Peralatan Penelitian .....	25
3.4 Prosedur Penelitian .....	26
3.4.1 Pemeriksaan Bahan .....	26

3.4.2	Perencanaan Campuran ACWCI .....	27
3.4.3	Pengujian Marshall .....	31
3.4.4	Uji Statistik .....	32
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1	Hasil Penelitian .....	34
4.1.1	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal .....	34
4.1.2	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregrat .....	35
4.1.3	Hasil Pengujian Marshall .....	36
4.2.	Pembahasan .....	39
4.2.1	Pengaruh Kadar Gilsonite Terhadap Nilai Karakteristik Marshall .....	39
4.2.2	Pengaruh Kadar Gilsonite Terhadap Modulus Kekakuan Aspal (Sbit) .....	41
4.2.3	Pengaruh Kadar Gilsonite Terhadap Modulus Kekakuan Campuran (Sme) .....	42
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>45</b>
5.1	Kesimpulan .....	45
5.2	Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
A.	Hasil Pemeriksaan Aspal .....	49
B.	Hasil Pemeriksaan Agregrat .....	66
C.	Hasil Pengujian Marshall .....	71
D.	Modulus Kekakuan Campuran .....	96
E.	Hasil Pendekatan Statistik.....	106



## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1	Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70 .....	5
2.2	Persyaratan Agregat .....	7
2.3	Gradasi Agregat Campuran Aspal Panas .....	8
2.4	Daerah Penolakan .....	9
2.5	Persyaratan Campuran .....	12
3.1	Prosedur Pengujian Standar Aspal Pen 60/70.....	26
3.2	Prosedur Pengujian Standar Untuk Agregat .....	27
3.3	Target Gradasi Dengan Ukuran Maksimum 19 mm .....	28
3.4	Jumlah Benda Uji .....	30
4.1	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen 60/70.....	34
4.2	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 Dengan Penambahan % Kadar Gilsonite .....	34
4.3	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat .....	35
4.4.	Hasil Pengujian Marshall Campuran ACWCI (2 X 112 tumbukan). .....	36
4.5	Penentuan Kadar Aspal Optimum Terhadap Total Campuran Pada 2 X 112 tumbukan .....	37
4.6	Hasil Pengujian Marshall Campuran ACWCI (2 X 200 tumbukan) dengan Penambahan % Gilsonite Pada Kadar Optimum 5,9 % Terhadap Total Campuran .....	37
4.7	Hasil Analisis Parameter Penentuan Modulus Kekakuan Aspal (Sbit) .....	41
4.8	Sbit dan Sme Metode Brown dan Brunton (1984) .....	42
4.9	Rasio Sme Akibat Penambahan Gilsonite Terhadap 0 % Gilsonite .....	44

## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
2.1	Spesifikasi Gradasi Campuran Ukuran Maksimum 19 mm (ACWC1).....	9
2.2	Perilaku Regangan Saat Menerima Beban Berulang .....	14
2.3	Nomogram Modulus Kekakuan Bitumen (Van de Poel, 1954).....	19
3.1	Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.2	Target Gradasi Campuran Ukuran Max. 19 mm (ACWC1).....	29
4.1	Grafik Hubungan Antara <i>VIM</i> Dengan Variasi Kadar Aspal Terhadap Total Campuran .....	36
4.2	Grafik Hasil Percobaan Marshall ACWC1 + % Variasi Gilsonite Metode Kepadatan Mutlak Pada kadar aspal optimum 5,9 % Terhadap Total Campuran.....	38
4.2	Hubungan Antara Penambahan % Gilsonite Dengan Penetrasi Dan Titik Lembek .....	41
4.3	Hubungan Antara Modulus Kekakuan Dengan Gilsonite Dan Temperatur .....	43

## DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

$\alpha$	=	Tingkat signifikansi
AASHTO	=	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ACWC1	=	<i>Asphalt Concrete Wearing Course Type 1</i>
Anova	=	<i>Analysis of Variance</i>
ASTM	=	<i>American Society for Testing Materials</i>
GMM	=	<i>Maximum Specific Gravity of Mixtures</i>
HRS	=	<i>Hot Rolled Sheet</i>
H	=	tebal perkerasan dalam mm
h	=	berat jenis campuran agregat aspal maksimum teoritis
i	=	persen rongga diantara agregat
j	=	persen rongga terhadap campuran
k	=	persen rongga terisi aspal
l	=	nilai pembacaan arloji stabilitas
m	=	1 x kalibrasi proving ring
MQ	=	<i>Marshall Quotient</i>
n	=	m x koreksi tebal benda uji = stabilitas (kg)
Pb	=	<i>Percentage of bitumen</i>
Pen at T1	=	Penetrasi pada temperature ke 1
Pen at T2	=	Penetrasi pada temperature ke 2
PI	=	<i>Penetration Index of bitumen</i> dalam 0,1 mm
Pi	=	<i>initial penetration of bitumen</i> dalam 0,1 mm
PIr	=	<i>Penetration Index recovered of bitumen</i> dalam 0,1 mm
Pr	=	<i>Penetration recovered of bitumen</i> dalam 0,1 mm
PRD	=	<i>Percentage Refusal Density</i>
Sbit	=	modulus kekakuan bitumen dalam MegaPascal (MPa) = Sb
SM	=	<i>asphalt mixed stiffness</i> dalam MegaPascal (MPa)
Sme	=	<i>Sm in the elastic region</i> dalam MegaPascal (MPa)
SNI	=	Standar Nasional Indonesia
SPI	=	<i>Initial softening point of bitumen</i> dalam ° C
SPr	=	<i>Recovered softening point of bitumen</i> dalam ° C

SSD	=	<i>Saturated Surface Dry</i>
Superpave	=	Superior Performing Asphalt Pavement
t	=	lama pembebanan dalam detik atau microsecond (ms)
T	=	Design temperatur
V	=	Kecepatan kendaraan komersil rata-rata dalam km per jam
VFA	=	<i>Void filled with Asphalt as percentage</i>
VIM	=	<i>Void In Mix as percentage</i>
VMA	=	<i>Void in Mineral Aggregate as a percentange</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang.

Pada tahun 1970-an dan awal tahun 1980, jalan-jalan raya di Pulau Jawa yang lalu lintasnya padat umumnya dilapis ulang dengan beton aspal (Laston). Kenyamanan sangat baik namun jenis laston ini cenderung sering rusak karena retak atau pelepasan butir. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa campuran ini perlu perbaikan dalam hal kelenturan dan keawetannya.

Pada tahun 1980 Bina Marga mengembangkan campuran aspal yang dikenal dengan Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) atau *Hot Rolled Sheet (HRS)* yang diyakini menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang cukup agar tidak menimbulkan kerusakan retak dan pelepasan butir. Campuran aspal menjadi tahan terhadap retak tetapi kerusakan berupa perubahan bentuk seperti alur plastis tak dapat dihindarkan. Kerusakan jenis ini semakin parah dan berkembang dengan cepat terutama pada jalan-jalan dengan lalu lintas padat dan berat.

Pada tahun 1992 Bina Marga memperkenalkan kembali jenis beton aspal kedalam kontrak-kontrak pekerjaan jalan dengan persyaratan kadar aspal optimum, namun jenis kerusakan berupa alur plastis kembali muncul seperti ditemui pada campuran *HRS* diatas.

Studi yang dilakukan Puslitbang Jalan menunjukkan adanya kaitan yang erat antara terjadinya deformasi plastis dengan tingginya kadar aspal, dan penurunan rongga udara dalam campuran (*VIM*) selama masa pelayanannya. Selanjutnya laju terjadinya deformasi plastis ditentukan oleh faktor-faktor luar seperti volume lalu lintas, beban gandar kendaraan, tekanan ban, geometrik jalan dan suhu perkerasan .

Untuk mencegah terjadinya alur plastis, Puslitbang Jalan menerapkan prosedur baru yaitu *Percentage Refusal Density (PRD)* agar kepadatan di Laboratorium mendekati kepadatan di lapangan. Prosedur tambahan ini dilakukan pada contoh uji yang dipadatkan sampai mencapai kepadatan tertinggi, pemadatan ini harus mencapai kondisi menolak (*refuse*) usaha tambahan kepadatan untuk mencapai lebih padat. Batas atas kadar aspal dapat ditentukan sampai mencapai *VIM* 3 % pada kondisi kepadatan tertinggi.

Prosedur tersebut diatas sebenarnya didasarkan atas hasil penelitian yang dilakukan oleh *The Strategic Highway Research Program (SHRP)* pada tahun 1987 sampai tahun

1993. Produk akhir penelitian ini adalah suatu campuran aspal yang dikenal dengan nama *Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement)*. Disain campuran ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja dengan mengontrol deformasi permanen (*rutting*), retak pada temperatur rendah (*low temperature cracking*) dan keretakan akibat kelelahan (*fatigue cracking*) oleh repetisi beban lalu lintas, dengan menekankan pada suatu rongga yang cukup untuk memperoleh keawetan campuran aspal sesuai umur rencana.

Untuk memperbaiki kinerja campuran agregat aspal dapat pula dengan memodifikasi sifat-sifat fisik aspal khususnya penetrasi dan titik lembek, menggunakan bahan tambah sehingga akan mengurangi kepekaan aspal terhadap temperatur. Serbuk Gilsonite adalah bahan tambah untuk campuran Laston, bahan ini berasal dari hasil tambang di AS dan banyak dijual di pasaran dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dan ketahanan terhadap retak.

Pada tahun 1998 Proyek AP-12 Demak –Trengguli menggunakan *AC (PRD) Wearing course* dengan bahan tambah Gilsonite, ketebalan lapisan 4 cm pelaksanaan penghamparan awal tahun 2000. Pada akhir tahun 2001 terjadi kerusakan berupa retak menyeluruh dan menyebar pada lapis aus, kondisi lapisan dibawahnya stabil tidak terjadi deformasi plastis.

Salah satu parameter pada campuran aspal untuk menganalisa kelelahan tersebut adalah tegangan dan regangan yang menunjukkan kekakuan dari suatu bahan. Nilai modulus kekakuan suatu bahan campuran agregat aspal dapat diperoleh dari hitungan teoritis (*indirect methods*) maupun dari hasil pengujian dengan alat laboratorium (*direct methods*). Pendekatan empiris antara lain dengan cara, Van Der Poel (1954) untuk modulus bitumen yang dikembangkan oleh Shell, Heukelom dan Klomp (1964) untuk modulus kekakuan campuran agregat aspal, The Asphalt Institute (1982) mengembangkan pendekatan persamaan modulus kekakuan campuran Brown dan Bunton (1984) yang dikembangkan oleh Universitas Nottingham.

Untuk mencegah *rutting* dibutuhkan campuran agregat aspal yang mempunyai stabilitas yang tinggi sehingga modulus kekakuan menjadi tinggi pula, namun tetap harus mempunyai sifat yang lentur agar tidak rentan terhadap retak. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh bahan Gilsonite pada campuran *AC* metode kepadatan mutlak terhadap modulus kekakuannya.

## 1.2 Tujuan penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

- a. Mengukur nilai Properties Marshall prosedur *PRD* pada lapis ACWC I yang ditambah Gilsonite dalam % variasi terhadap total kadar aspal.
- b. Menganalisis modulus kekakuan campuran pendekatan analitis cara Brown dan Brunton (1984) .
- c. Mengetahui pengaruh penambahan Gilsonite pada ACWC I dengan variasi temperatur terhadap nilai modulus kekakuan.

## 1.3 Manfaat penelitian

Informasi mengenai pengaruh Gilsonite sebagai bahan tambah pada lapis aus AC terhadap nilai struktural yang ditinjau yaitu modulus kekakuan campuran dapat memberikan kontribusi pemikiran kepada pihak penyedia jasa khususnya perencana untuk merencanakan tebal perkerasan berbasis kinerja berdasar prinsip-prinsip mekanistik.

## 1.4 Batasan masalah

Penelitian ini difokuskan kepada seberapa besar pengaruh penambahan Gilsonite pada lapis aus ACWC I prosedur *PRD* terhadap nilai modulus kekakuan. Adapun ruang lingkup penelitian terbatas pada :

- a. Digunakan aspal minyak Pen. 60/70 ex kilang minyak Cilacap.
- b. Variasi temperatur uji 20° C, 40° C, 60° C.
- c. Digunakan bahan tambah Gilsonite variasi 0 %, 2%, 4 %, 6 %, 8 % terhadap total kadar aspal.
- d. Pencampuran menggunakan Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Kepadatan Mutlak Standar Bina Marga, serta revisi spesifikasi Juni tahun 2000.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam atau kecoklatan, anti terhadap air dan bersifat adhesive (*British Standard 3690, 1982*).

Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lainnya seperti pada cekungan bumi yang mengandung aspal atau batuan alam yang mengandung aspal.

Aspal adalah material yang mempunyai sifat visco-elastis dan tergantung dari waktu pembebanan. Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viscositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan aspal mempunyai sifat viscositas yang diwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan (*Shell Bitumen, 1990*).

Fungsi aspal dalam campuran agregat aspal adalah sebagai pengikat yang bersifat visco-elastis dengan tingkat viscositas yang tinggi selama masa layan dan berfungsi sebagai pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga memudahkan untuk dipadatkan.

*AASHTO (1982)* menyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal, angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi.

Brown dan Brunton (1984) menyatakan semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama. Semakin tinggi suhu udara dan makin lambat beban yang lewat, maka modulus elastis aspal makin kecil. Lama pembebanan merupakan fungsi dari tebal perkerasan dan kecepatan kendaraan.



Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70 yang dipresentasikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No	Sifat-sifat	Pen 60/70		Satuan
		min	max	
1	Penetrasi (25 <sup>0</sup> C, 100 gr, 5 detik)	60	70	0.1 mm
2	Titik lembek ( <i>ring and ball test</i> )	48	58	<sup>0</sup> C
3	Titik nyala ( <i>cleveland open cup</i> )	200	0	<sup>0</sup> C
4	Kehilangan berat (163 <sup>0</sup> C, 5 jam)	-	0,8	% berat
5	Kelarutan (C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )	99	-	% berat
6	Daktilitas (25 <sup>0</sup> C, 5 cm per menit)	100	-	cm
7	Pen setelah kehilangan berat	54	-	% asli
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	50	-	cm
9	Berat jenis (25 <sup>0</sup> C)	1	-	gr/cm <sup>3</sup>

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

## 2.2 Gilsonite

Upaya yang dapat dilakukan guna meningkatkan masa layanan adalah meningkatkan mutu bahan dasar seperti aspal, sehingga unjuk kerja campuran dapat lebih dimantapkan. Gilsonite adalah bahan alam yang ditemukan dan dikenal sebagai bahan perkuatan aspal (*reinforcer*) dan bahan pengeras (*hardening agen*).

Bahan tambah ini digunakan dengan tujuan meningkatkan kualitas sifat fisik dan kimia aspal minyak, yang mengandung mineral hidrokarbon alami berwarna kecoklatan, sangat rapuh dan terdapat dalam bentuk sangat murni yaitu > 99 %, mempunyai kadar abu sangat rendah berkisar 0,6 % sampai 1 % serta menunjukkan kandungan *Asphaltene* sebesar 70,9 %, disamping terkandung unsur *Maltene* 27 % dan *Oils* 2 % serta kandungan *Nitrogen* 3,2 %. (Gilsonite Information Bulletin)

### KARAKTERISTIK GILSONITE

Softening Point (ASTM E28-92)	159 – 182 <sup>0</sup> C 320 – 360 <sup>0</sup> F
Ash (ASTM D271 – 70 M)	0.50 % Typical 0.90 % Max Guaranteed

Moisture (AGC Method)	0.50 % Typical 0.70 % Max Guaranteed
Penetration (25 <sup>0</sup> C,100 gm,5 sec)	0
Colour In Mass	Black
Flash Point (COC)	316 <sup>0</sup> C ; 600 <sup>0</sup> F
Nitrogen	3 % min
Sulfur	0.3 %
Specific Gravity	1.05

### 2.3 Agregat dan Gradasi

Agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran agregat aspal yang berupa berbagai jenis butiran-butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya antara lain pasir, kerikil, agregat pecah, abu / debu agregat.

Sukirman (1999) menyatakan bahwa gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

#### 2.3.1 Agregat

*Shell (1990)* mengelompokkan agregat menjadi 3 (tiga), yaitu :

- Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm). Dalam campuran agregat aspal, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja, karena stabilitas dari campuran diperoleh dari *interlocking* antar agregat.
- Agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) dan tertahan No.200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui *interlocking* dan gesekan antar partikel.
- Mineral pengisi (*filler*) yaitu yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar *filler* cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas, pada sisi lain kadar *filler* yang terlampaui rendah

menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Persyaratan agregat untuk campuran dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan Agregat

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi	
			Minimum	Maksimum
<b>Agregat Kasar</b>				
1	Penyerapan air	%	-	3
2	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-
3	Berat jenis semu	-	-	-
4	Berat jenis efektif	-	-	-
5	Tes abrasi Los Angeles	%	-	40
6	Indeks kepipihan	%	-	25
7	Kelekatan dengan aspal	%	95	-
<b>Agregat Halus</b>				
1	Penyerapan air	%	-	3
2	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-
3	Berat jenis semu	-	-	-
4	Berat jenis efektif	-	-	-
5	<i>Sand equivalent</i>	%	-	40
<b>Filler</b>				
1	Berat jenis	-	-	-

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

### 2.3.2 Gradasi

Penentuan distribusi ukuran agregat akan mempengaruhi kekakuan campuran aspal, agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan agregat bergradasi terbuka. Dari segi kelelahan, kekakuan adalah suatu hal yang penting karena akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang diderita campuran agregat aspal akibat beban dinamik lalu lintas.

*Superpave* menetapkan gradasi dengan 2 (dua) spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada dalam batas titik-titik kontrol (*control point*) dan menghindari daerah penolakan (*restricted zone*). Titik-titik kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus lewat. Titik-titik tersebut diletakkan di ukuran maksimum nominal dan di pertengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Daerah penolakan terletak diantara pertengahan saringan dan saringan 0,3 mm. Gradasi yang melewati daerah penolakan disebut "humped gradation" karena bentuk hump (punggung bukit) daerah ini. Di dalam campuran, daerah penolakan ini menunjukkan terlalu banyak pasir halus dari seluruh total pasir, sehingga mengalami kesulitan dalam pemadatan dan mengurangi ketahanan terhadap deformasi selama umur rencana. Gradasi yang mengikuti garis kepadatan (*density*) maksimum seringkali memberikan *VMA* (*void in mineral aggregate*) yang tidak mencukupi untuk memberikan kadar aspal yang sesuai dalam menghasilkan keawetan campuran agregat aspal.

Kennedy (1996) menyarankan untuk menghasilkan kinerja jalan yang baik dengan volume lalu lintas yang tinggi dipilih target gradasi yang lewat di bawah daerah penolakan. Untuk persyaratan gradasi agregat dan daerah penolakan dapat di lihat pada Tabel 2.3, Tabel 2.4 dan Gambar 2.1

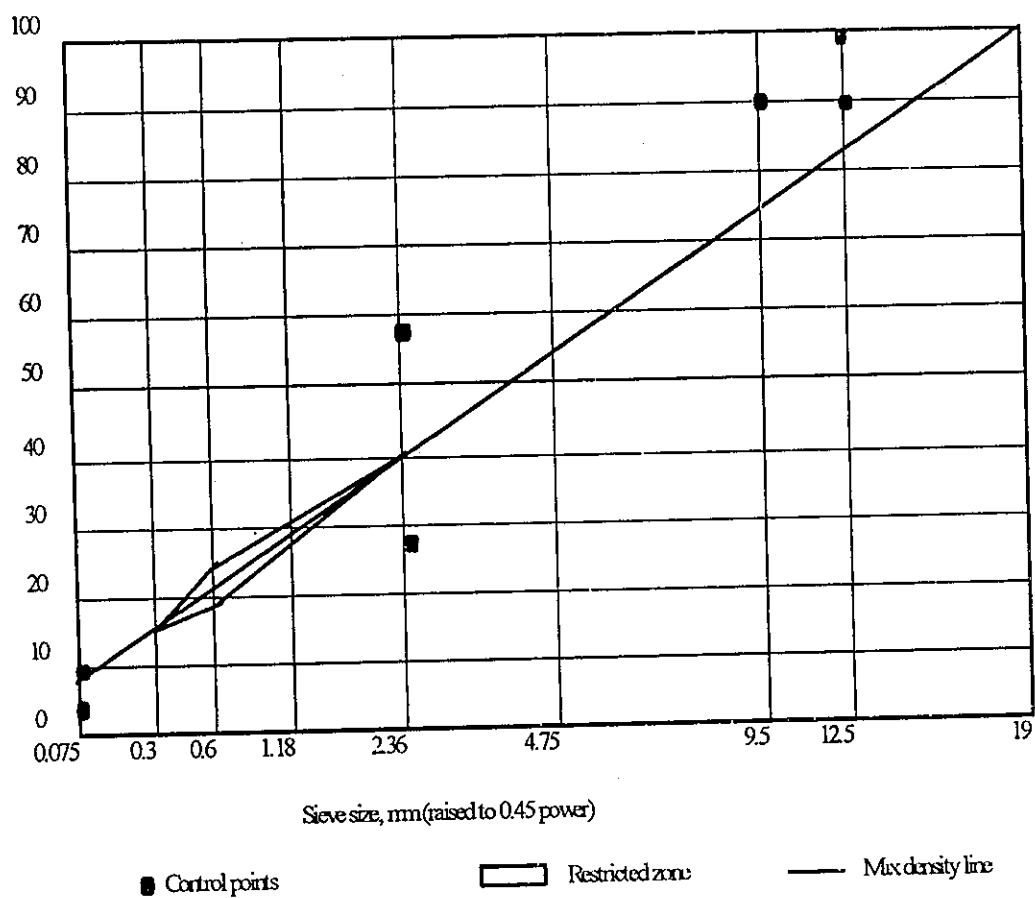
Table 2.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Panas

Sieve Size		Percentage Passing by Weight						
Metric (mm)	ASTM	HRSS	HRSS	HRS	HRS	AC		AC Base
		A	B	WC	BC	AC-WC1	AC-WC2 or Binder	
37.5	1.5"							100
25	1"						100	90-100
19	3/4"	100	100	100	100	100	90-100	Max 90
12.5	1/2"			90-100	90-100	90-100	Max 90	
9.5	3/8"	90-100		75-85	65-100	Max 90	-	
2.36	# 8		75-95	50-72	35-55	28-58	23-49	19-45
1.19	# 16							
0.600	# 30			35-60	15-35			
0.075	# 200	10-15	8-13	6-12	2-9	4-10	4-8	3-7

Sumber : Bina Marga ( revised spesification June,2000)

Table 2.4 Daerah Penolakan (Fuller Curve)

Sieves Sizes	Percent Passing (by weight)		
	AC-WC 1	AC-WC 2	AC-BASE
4.75 mm #4			39.5 - 39.5
2.36 mm #8	39.1 - 39.1	34.6 - 34.6	26.8 - 30.8
1.18 mm #16	25.6 - 31.6	22.3 - 28.3	18.1 - 24.1
0.60 mm #30	19.1 - 23.1	16.7 - 20.7	13.6 - 17.6
0.30 mm #50	15.5 - 15.5	13.7 - 13.7	11.4 - 11.4



Gambar 2.1. Spesifikasi Gradasi Campuran ukuran max 19 mm (ACWC1)

## 2.4 Persyaratan Campuran

Perencanaan campuran mencakup kegiatan pemilihan dan penentuan proporsi material untuk mencapai sifat-sifat akhir dari campuran aspal yang diinginkan (*Asphalt Institute, 1993*). Tujuan dari perencanaan campuran aspal adalah untuk mendapatkan campuran efektif dari gradasi agregat dan aspal yang akan menghasilkan campuran aspal yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Stabilitas adalah kemampuan campuran untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan beban lalu lintas. Stabilitas tergantung dari gaya gesek (*internal friction*) dan kohesi (*cohesion*). Sedangkan gaya gesek tergantung pada *surface texture*, gradasi agregat, bentuk kombinasi dari gaya gesek dan kemampuan saling mengunci dari agregat pada campuran.
- b. Fleksibilitas adalah kemampuan lapis permukaan untuk menyesuaikan perubahan bentuk yang terjadi dibawahnya tanpa mengalami retak-retak, sifat ini bertolak belakang dengan stabilitas, maka dalam perencanaan kedua sifat ini diusahakan dicapai optimumnya, karena usaha memaksimumkan sifat yang satu berarti meminimumkan sifat yang lainnya. Umumnya fleksibilitas campuran aspal akan tinggi dengan menambahkan kadar aspal, menggunakan aspal dengan daktilitas tinggi, mengurangi tebal lapis keras dan menggunakan gradasi agregat relatif terbuka.
- c. Durabilitas adalah kemampuan campuran untuk mempertahankan kualitasnya dari kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh cuaca dan beban lalu lintas (*oksidasi, stripping, disintegrasi dari agregat*).
- d. *Impermeability* adalah sifat kedap air dan udara yang dimiliki campuran, hal ini erat kaitannya dengan jumlah rongga dalam campuran yang dapat mempengaruhi durabilitas lapis perkerasan. Permukaan perkerasan dapat dimungkinkan kedap air dengan cara, menggunakan gradasi rapat dan atau memperbesar kadar aspal agar nilai voidnya kecil.
- e. *Fatigue Resistance* adalah kemampuan perkerasan terhadap kelelahan akibat beban yang berulang-ulang (*load repetition*) dari beban lalu lintas tanpa mengalami retak. Nilai *fatigue resistance* dapat dinaikkan dengan cara, mempertinggi kadar aspal, mempertebal lapis permukaan dan memperkecil rongga terhadap campuran.
- f. *Skid Resistance* adalah kekesatan lapis permukaan yang akan berkaitan dengan kemampuan permukaan lapis keras tersebut untuk melayani arus lalu lintas kendaraan yang lewat di atasnya tanpa terjadi *skidding-slipping* pada saat kondisi permukaan

basah. Nilai kekesatan yang tinggi dapat diperoleh dengan cara, menggunakan agregat dengan mikrotekstur tinggi dan nilai abrasi rendah, membuat kondisi permukaan sehingga mempunyai makrotekstur tinggi misalnya dengan *chipping* dan mengurangi kadar aspal.

- g. *Workability* adalah sifat kemudahan dari campuran agregat aspal untuk dilaksanakan meliputi pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah, gradasi agregat, temperatur campuran, kandungan *filler*.

Pengujian sifat-sifat campuran agregat aspal digunakan cara Marshall serta tambahan prosedur PRD sesuai RSNI Bina Marga 1999 tentang Tata Cara Penentuan Kepadatan Mutlak Campuran Beraspal Panas. Pemadatan PRD dapat dilakukan dengan pemadat getar (*vibrating hammer*) atau mengikuti prosedur Marshall, tetapi dengan jumlah tumbukan dua kali 200 kali tiap muka. Persyaratan campuran agregat aspal dipresentasikan pada Tabel 2.5.

Table 2.5 Persyaratan Campuran

Sifat-sifat Campuran			HRSS A	HRSS B	HRS WC	HRS Base	AC-WC1 AC-WC2	AC Base
Penyerapan Kadar Aspal		Max	2.0	2.0	1.7	1.7	1.7	1.7
Total Kadar Aspal (% thd total Berat Campuran)			Sesuai kebutuhan terpenuhinya spesifikasi ini					
Jumlah tumbukan per bidang			50	50	75	75	75	112
Rongga dalam campuran (VIM) (%)			3 - 6	3 - 6	3 - 6	3 - 6	3 - 6	3 - 8
Rongga dalam agregat VMA (%)		Min	20	20	18	18	14	13
	Lalu lintas (LL)	Min	HRSS tidak digunakan untuk lalu lintas berat		65	65	65	65
Rongga	>1.000.000	Max			-	-	-	-
terisi	ESA							
Aspal	>500.000	Min			68	68	68	68
(%)	ESA	Max			-	-	-	-
(VFA)	<1.000.000							
	Lalu lintas (LL)	Min	75	75	75	75	75	75
	<500.000	Max	-	-	-	-	-	-
	ESA							
Stabilitas Marshall (kg)		Min	200	200	800	800	800	1800
		Max	850	850	-	-	-	-
Kelelahan (Flow) (mm)		Min	2	2	2	2	2	3
		Max	3	3	-	-	-	-
Marshall Quotient(kg/mm)		Min	80	80	200	200	200	200
Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60°C (%)		Min	75	75	75	75	75	75
		Max	-	-	-	-	-	-
Rongga dlm campuran (%) pada Kepadatan membal	Lalu lintas (LL)	Min	HRSS tidak digunakan untuk lalu lintas berat		3	3	3	3
	>1.000.000	Max			-	-	-	-
	ESA							
	>500.000	Min			2	2	2	2
	ESA	Max			-	-	-	-
	<1.000.000							
	Lalu lintas (LL)	Min	1	1	1	1	1	1
	<500.000	Max	-	-	-	-	-	-
	ESA							

Sumber : Bina Marga ( revisi spesifikasi Juni,2000)



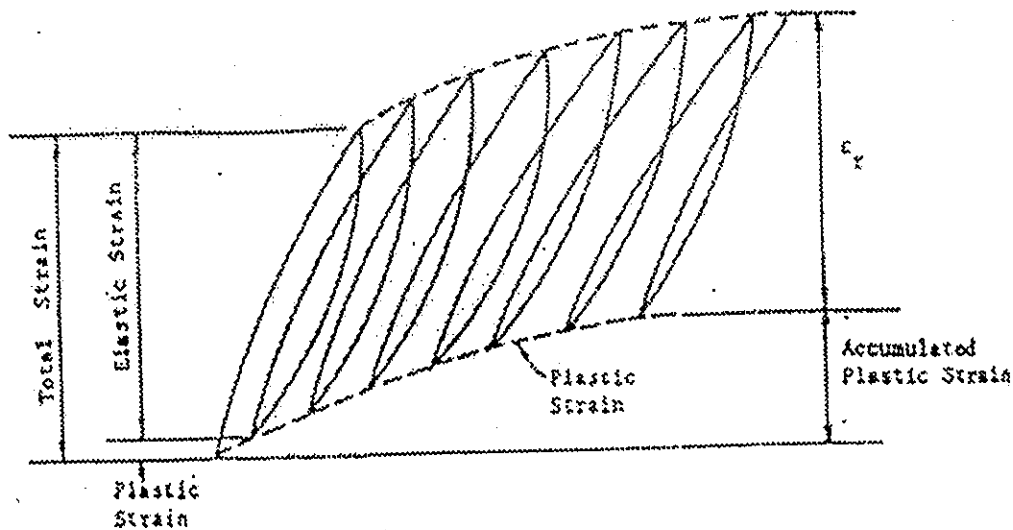
## 2.5 Modulus Kekakuan

Konsep kekakuan (*stiffness concept*) yang dikemukakan oleh Van der Poel dalam *Shell Bitumen* (1991) bahwa bitumen merupakan bahan viskoelastis yang mengalami deformasi akibat tegangan yang merupakan fungsi dari temperatur dan lama pembebanan. Teori kekakuan yang dikemukakan oleh Brown dan Brunton (1984) menyebutkan bahwa nilai struktural perkerasan dapat dinyatakan dalam modulus kekakuan campuran agregat aspal. Modulus kekakuan ini digunakan untuk menyatakan suatu nilai tegangan dibagi regangan pada temperatur dan lama pembebanan tertentu akibat beban dinamik lalu lintas kendaraan.

Brown dan Brunton juga menyatakan bahwa nilai modulus kekakuan campuran agregat aspal ditentukan oleh kekakuan bahan perekat (aspal) dan karakteristik perbandingan agregat (gradasi agregat). Kekakuan bahan perekat sangat ditentukan oleh lama pembebanan (*loading time*), *recovered softening point of bitumen* dan *recovered penetration index of bitumen*.

Modulus elastis sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan, perilaku regangan pada setiap lapisan perkerasan saat menerima beban berulang akan menimbulkan elastic strain, plastic strain keduanya merupakan *total strain* dan *peak strain*. Huang (1993) mengemukakan daerah *elastic strain* menunjukkan struktur perkerasan akan kembali ke bentuk semula, namun sebagian akan mengalami deformasi permanen dalam daerah *plastic strain*. Hal tersebut berlangsung secara berulang-ulang sehingga terjadi *recoverable strain* (regangan yang terjadi sebelum kekuatan maksimum struktur tercapai) dan *total plastic strain*. *Peak strain* adalah regangan yang terjadi saat kekuatan maksimum struktur tercapai, jika *peak strain* dilampaui maka struktur perkerasan akan mengalami *failure*.

Batas *peak strain* tergantung dari tebal lapisan dan karakteristik material yang dinyatakan dalam rasio poisson dan modulus elastisitas. Perilaku tersebut dapat digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perilaku Regangan Saat Menerima Beban Berulang

Sumber : Brown dan Brunton (1984)

Yang (1972) menyatakan bahwa sifat viscous dari bahan perekat aspal memberikan kontribusi yang besar terhadap sifat elastik dari beton aspal (*asphaltic concrete*). Modulus elastisitas menurun dari 500.000 psi pada 40<sup>o</sup> F (4,444<sup>o</sup> C) menjadi 4.000 psi pada 100<sup>o</sup> F (37,778<sup>o</sup> C).

AASHTO (1993) mengatakan perlunya diperhatikan terhadap beton aspal lapis permukaan (*Asphalt concrete surface coarse*) yang mempunyai nilai modulus kekakuan diatas 450.000 psi, tingginya nilai modulus kekakuan menyebabkan beton aspal lebih kaku dan tahan terhadap bending, namun rentan terhadap suhu dan retak lelah (*fatigue cracking*) Modulus kekakuan campuran agregat aspal secara empiris diperoleh dengan mengetahui modulus kekakuan aspal terlebih dahulu, setelah itu dapat dihitung modulus kekakuan campuran agregat aspal.

### 2.5.1 Modulus Kekakuan aspal

Modulus kekakuan aspal dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur dan lama pembebanan, dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Temperatur perkerasan dengan mempertimbangkan bahwa aspal adalah bahan termoplastik yaitu tingkat konsistensinya dipengaruhi oleh perubahan temperatur.

- b. Lama pembebanan (*loading time*) dengan mempertimbangkan bahwa aspal adalah bahan reologik, yaitu bahan yang perbandingan tegangan dengan regangannya tidak hanya sebagai fungsi dari beban tetapi juga dipengaruhi oleh waktu pembebanan.

Kekakuan bitumen dapat diperkirakan dengan bantuan nomogram yang dibuat oleh Van der Poel, sedangkan data yang dibutuhkan adalah:

1. Temperatur ( $T$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ).
2. Titik lembek *recovered* ( $SPr$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ).
3. Waktu pembebanan ( $t$ ) (detik).
4. Indeks Penetrasi *recovered* ( $PIr$ ).

Ullidtz dalam Brown dan Brunton juga menyatakan bahwa secara matematis hubungan dari sifat-sifat fisik aspal dan lalu lintas seperti titik lembek, temperatur dan waktu pembebanan adalah sebagai berikut.

$$S_b = 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot (tw)^{-0,368} \cdot 2,718^{-PIr} \cdot (SPr - T)^5 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- $S_b$  = modulus kekakuan bitumen, (MPa)
- $T_w$  = lama pembebanan, (detik)
- $T$  = temperatur perkerasan, ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $PIr$  = penetrasi *index recovered*
- $SPr$  = titik lembek *recovered*, ( $^{\circ}\text{C}$ )

Perbedaan temperatur pada saat penghampanan dengan temperatur di laboratorium menjadi suatu pertimbangan dalam pendekatan persamaan Brown dan Brunton, sehingga *recovered properties* digunakan dalam perhitungan modulus kekakuan aspal. Hubungan antara penetrasi awal ( $PI$ ) dengan penetrasi *recovered* ( $Pr$ ) adalah sebagai berikut:

$$Pr = 0,65 \cdot PI \dots\dots\dots (2.2)$$

Titik lembek *recovered* ( $SPr$ ) dapat dicari dari penetrasi *recovered* ( $Pr$ ) dengan persamaan

$$SPr = 98,4 - 26,35 \cdot \log Pr \dots\dots\dots (2.3)$$

Pfeiffer dan Doormaal (1950) dalam Robert, et al (1991) menyatakan bahwa terminologi secara kuantitatif kerentanan terhadap temperatur (*temperatur susceptibility*) dinyatakan dalam index penetrasi (*penetration index*,  $PI$ ).  $PI$  dapat dihitung dengan persamaan.

$$A = \frac{\text{Log Pen at T1} - \text{log pen at T2}}{T1 - T2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$PI = \frac{20 - 500 A}{1 + 50 A} \dots\dots\dots (2.5)$$

keterangan :

- A = kemiringan garis penetrasi pada T1 dan T2  
 Pen at T1 = penetrasi pada temperatur 25<sup>o</sup> C  
 Pen at T2 = penetrasi pada temperatur titik leleh = 800

Semakin rendah nilai PI dari aspal keras, maka semakin tinggi kerentanan terhadap temperatur. Sebagian besar aspal keras yang digunakan sebagai bahan perekat memiliki nilai PI diantara +1 dan -1.

Index Penetrasi recovered (PIr) dapat dicari dari penetrasi recovered (Pr) dan titik leleh recovered (SPr) dengan persamaan sebagai berikut.

$$PIr = \frac{1951,4 - 500 \cdot \log Pr - 20 \cdot SPr}{50 \cdot \log Pr - SPr - 120,14} \dots\dots\dots (2.6)$$

Lama pembebanan (Tw) nilai ini berkaitan dengan sifat rheologi aspal, dimana semakin lama pembebanannya, sifat aspal berubah dari elastis menjadi viscous. Nilai Tw didapat dari persamaan :

$$\text{Log Tw} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot H - 0,2 - 0,94 \cdot \log V \dots\dots\dots (2.7)$$

H = tebal perkerasan (mm)

V = kecepatan kendaraan (km/jam) atau  $Tw = L / v$

L = diameter tapak roda

Batasan penggunaan prosedur untuk mencari modulus kekakuan aspal cara Brown dan Brunton adalah t berada diantara 0,01 dan 0,1 detik, PIr diantara -1 dan +1 dengan nilai (SPr - T) antara 20<sup>o</sup> C sampai dengan 60<sup>o</sup> C.

### 2.5.2 Modulus Kekakuan Campuran

Modulus kekakuan campuran agregat aspal dapat diperoleh dari pendekatan empiris metode Brown dan Brunton sebagai berikut ini.

$$S_{me} = S_b \left[ 1 + \frac{257,5 - 2,5 \cdot VMA}{n \cdot (VMA - 3)} \right]^n \dots\dots\dots (2.8)$$

$$n = 0,83 \cdot \log \left[ \frac{40.000}{S_b} \right] \dots\dots\dots (2.9)$$

$S_{me}$  = kekakuan campuran, (MPa)

$S_b$  = Nilai kekakuan aspal, (MPa)

$VMA$  = Voids in mineral aggregate, (%)

Nilai  $VMA$  campuran agregat aspal bervariasi dari 12 % sampai dengan 30 %, dan volume pori dalam campuran ( $V_v$ ) lebih besar dari 3 % dan nilai minimum modulus kekakuan bitumen 5 MPa.

Metode Heukelom dan Komp memberikan formula untuk mencari modulus kekakuan campuran sebagai berikut :

$$S_{mix} = S_{bit} \left[ 1 + \frac{2,5}{n} \times \frac{C_v}{1 - C_v} \right]^n \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

$$n = 0,83 \log \left[ \frac{4 \cdot 10^4}{S_{bit}} \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

$$C_v = \frac{V_g}{V_g + V_b} \dots\dots\dots (2.12)$$

Rumus diatas hanya digunakan untuk kepadatan dengan volume rongga kurang dari 3 %. Untuk kepadatan dengan volume rongga lebih besar dari 3 % digunakan rumus:

$$C'v = \frac{Cv}{1 + 0,01(Vv - 3,0)} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$C'v$  = Modifikasi volume agregat

$Vv$  = Volume rongga udara dalam campuran

Modifikasi ini hanya berlaku jika volume konsentrasi bitumen  $Cb$  memenuhi nilai

$$Cb > 2/3 (1 - C'v).$$

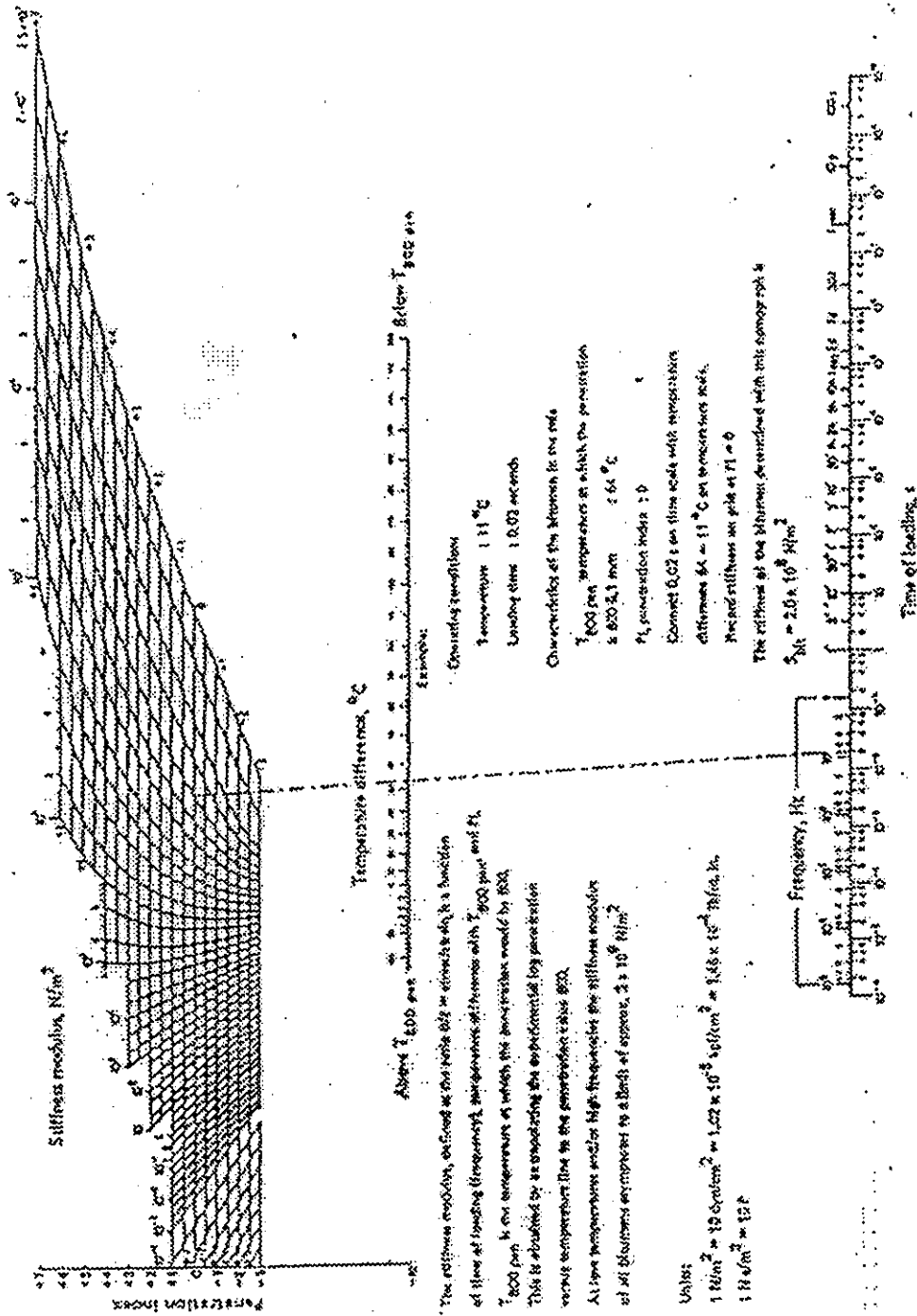
$Cb$  : Volume bitumen / ( volume bitumen + volume agrgat )

$$: Vb / (Vb + vg)$$

### 2.5.3. Hipotesis

Berdasarkan pada tujuan penelitian dan tinjauan pustaka yang ada, nilai modulus kekakuan campuran agregat aspal dipengaruhi modulus kekakuan aspal dan *VMA*. Penambahan gilsonite akan mempengaruhi sifat fisik aspal khususnya titik lembek dan penetrasinya. Disamping itu aspal sebagai bahan yang bersifat termoplastis akan dipengaruhi oleh temperatur, kedua hal tersebut akan mempengaruhi modulus kekakuan aspal.

Penambahan gilsonite sebesar 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 % diduga akan menurunkan penetrasi dan menaikkan titik lembek, sehingga akan menaikkan nilai modulus kekakuan campuran agregat aspal, pendekatan analisis metode Brown dan Brunton (1984).



Gambar 2.3 Nomogram Modulus Kekakuan Bitumen ( Van der Poel, 1954)

Sumber : Huang (1993)

## 2.6. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Penelitian yang sudah pernah dilakukan antara lain:

1. Cakra Nagara (2000), meneliti pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap kinerja campuran beton aspal, yang menyatakan bahwa pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap *VIM* sangat besar, semakin besar jumlah tumbukan nilai *VIM* semakin kecil. Pada jumlah tumbukan 2x150, 2x200, 2x300 dan 2x400 menurunkan nilai *VIM* sebesar 30-50% dari nilai *VIM* pada tumbukan standar (2x75 pukulan). Peningkatan jumlah tumbukan juga meningkatkan nilai modulus kekakuan dan pada temperatur 40<sup>0</sup>C meningkatkan nilai modulus kekakuan sampai 60%.
2. Djoko Sulistiono (2000), mengadakan tinjauan teknis dan ekonomis Gilsonite sebagai bahan *additive* campuran aspal beton, mengatakan bahwa penambahan gilsonite pada aspal pen 60/70 mampu meningkatkan sifat-sifatnya yaitu tingkat kekerasan bertambah, titik lembek bertambah, titik nyala dan titik bakar semakin tinggi yang menjadikan semakin aman saat pelaksanaan. Penambahan gilsonite pada kadar aspal optimum 5,1% ternyata memenuhi spesifikasi campuran aspal beton, ditinjau dari harga stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *air void* dan rongga terisi aspal. Penambahan gilsonite yang semakin banyak juga mampu menaikkan kekuatan campuran, menaikkan tahanan campuran terhadap retak, sehingga gilsonite bisa menjadi alternatif untuk memperbaiki kualitas campuran aspal beton disamping bahan *additive* lain. Kadar gilsonite optimum 4 % disamping memberi keuntungan teknis juga memberi resiko kenaikan biaya sebesar 26 % setiap ton berat campuran aspal beton.

Perbedaan dalam Penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, adalah pada penambahan metode kepadatan mutlak, pendekatan analitis metode Brown dan Bunton (1984) untuk mendapatkan modulus kekakuan campuran agregat aspal, variasi temperatur, penggunaan gradasi agregat.



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metode dan Disain

Penelitian dilakukan di laboratorium, sedangkan metode pengujian secara umum mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI), RSNI Bina Marga 1999 tentang Tata Cara Penentuan Kepadatan Mutlak Campuran Beraspal Panas, Revisi Spesifikasi Bina Marga juni 2000, maupun metode dari *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *British Standards Institution* (BS) bilamana diperlukan.

Pelaksanaan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pemeriksaan bahan (agregat ,aspal), penentuan gradasi campuran (target gradasi) dan pembuatan resep campuran , pengujian Marshall, dan secara skematis dapat dilihat pada gambar 3.1

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Uji Marshall

Data yang diperoleh dari pengujian Marshall adalah :

a = kadar aspal terhadap total agregat (%)

b = kadar aspal terhadap campuran agregat aspal (%)

c = berat kering benda uji (gr)

d = berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr)

e = berat benda uji dalam air (gr)

f = volume benda uji = d-e (cc) ..... (3.1)

g = berat volume = *density* = c/f (gr/cc) ..... (3.2)

h = BJ maksimum teoritis, (gr/cc)

$$= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{\text{BJ efektif agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{BJ efektif agregat} = \frac{\% \text{ agregat}}{\frac{100}{\text{GMM}} - \frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Gmm (*maximum specific gravities of mixtures*) ditentukan dengan cara AASHTO T-20 atau ASTM D 2041 pada kadar aspal optimum perkiraan yang dihitung dengan persamaan 3.1

$$i = \text{persen rongga diantara agregat (\%), } VMA = 100 - \frac{(100 - b) g}{\text{BJ bulk agregat}} \quad (3.5)$$

$$j = \text{persen rongga terhadap campuran (\%), } VIM = 100 - \frac{100.g}{h} \quad \dots\dots (3.6)$$

$$k = \text{persen rongga terisi aspal (\%), } VFA = \frac{100 (i - j)}{i} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

l = nilai pembacaan arloji stabilitas

m = l x kalibrasi proving ring

n = m x koreksi tebal benda uji = stabilitas (kg)

= m x koreksi volume benda uji = stabilitas (kg)

o = nilai kelelahan plastis (flow), (mm)

$$p = \text{Quotient Marshall} = \frac{m}{o}, \text{ (kg/mm)} \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$$q = \text{kadar aspal efektif} = b \times \frac{\text{absorpsi aspal (100 - b)}}{100} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

absorpsi aspal terhadap total agregat

$$= 100 \times \frac{\text{BJ. efektif} - \text{BJ. bulk}}{\text{BJ. efektif} \times \text{BJ. bulk}} \times \text{BJ aspal} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

$$\text{BJ bulk} = \frac{\% \text{ ag. kasar} + \% \text{ ag. halus} + \% \text{ filler}}{\frac{\% \text{ agregat kasar}}{\text{BJ. bulk ag. kasar}} + \frac{\% \text{ agregat halus}}{\text{BJ. bulk ag. halus}} + \frac{\% \text{ filler}}{\text{BJ. bulk filler}}} \quad \dots\dots (3.11)$$

Indeks perendaman (*Marshall Index of Retained Strength*), (%)

$$= \frac{\text{Stabilitas Marshall rendaman}}{\text{Stabilitas Marshall standar}} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.12)$$

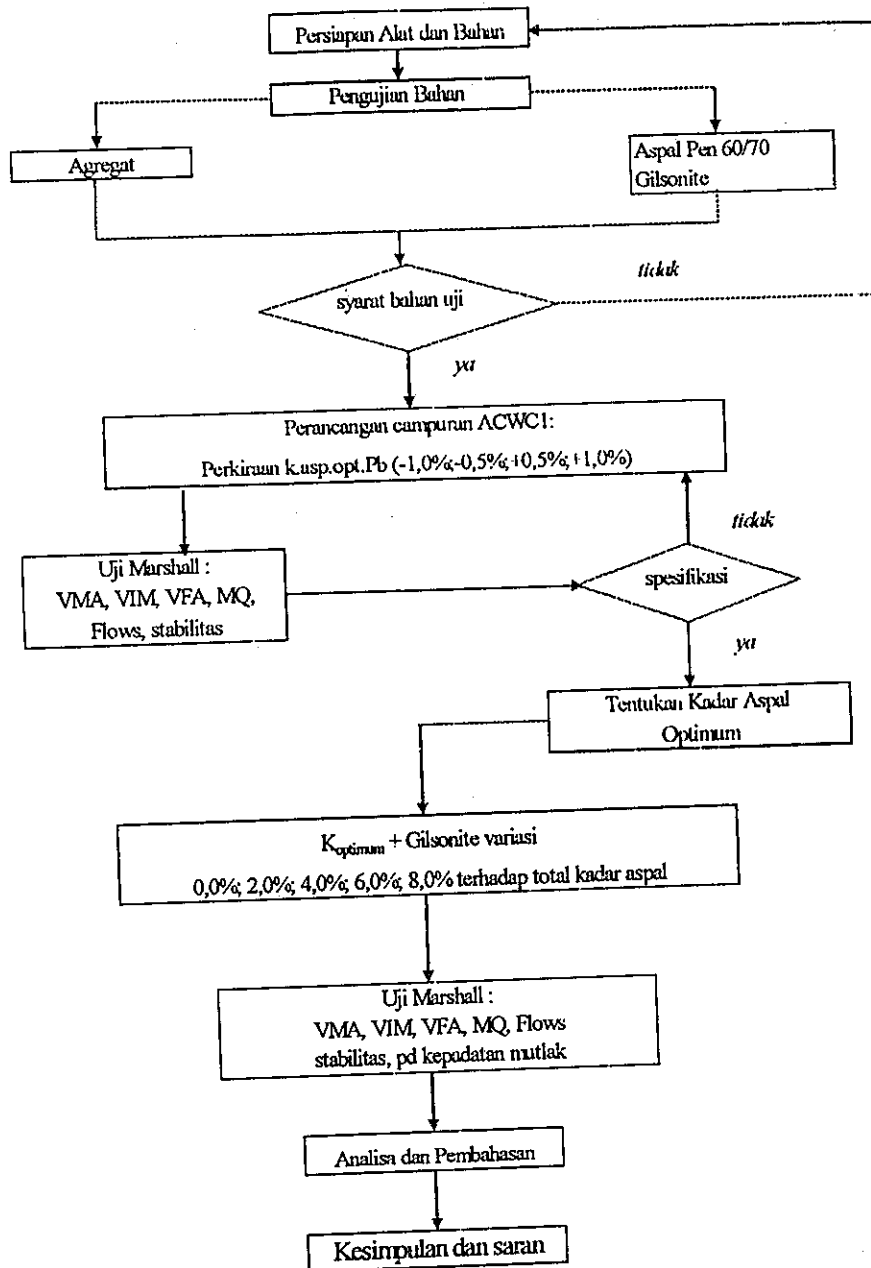
## 2. Modulus kekakuan

Hasil dari analisis Marshall ini digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum. Nilai *VMA* pada kadar aspal optimum tersebut digunakan untuk menganalisis modulus kekakuan campuran agregat aspal dengan metode Brown dan Bruton (1984)

### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Agregat kasar berasal dari Tayu, agregat halus dari Muntilan, sedangkan *filler* digunakan abu batu.
- b. Aspal Minyak yang digunakan Pen 60/70 produksi PT Pertamina.
- c. Bahan tambah Gilsonite dari PT Bima Kimia Citra Jakarta.



Gambar 3.1 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

### 3.3 Peralatan Penelitian

#### 1. Alat uji pemeriksaan aspal.

Digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji viscositas, alat uji kelarutan.

#### 2. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin Los Angeles (tes abrasi), saringan standar (penyusunan gradasi agregat), alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), alat uji indeks kepipihan, bak perendam dan tabung *sand equivalent*.

#### 3. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall, meliputi:

- a. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (flowmeter).
- b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 in.) dengan tinggi 7,5 cm (3 in.) untuk Marshall standar dan diameter 15,24 cm (6 in.) dengan tinggi 9,52 cm untuk Marshall modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung
- c. Penumbuk otomatis (elektrik) atau manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3-7/8 in.), berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 in.) untuk Marshall standar. Sedangkan untuk Marshall modifikasi permukaan silinder penumbuk dengan diameter 14,94 cm (5,88 in.), berat 10,2 kg (22,5 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 in.)
- d. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- e. Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu.
- f. Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan aspal dan agregat. Pemeriksaan aspal dilakukan untuk mengetahui apakah aspal yang dipilih sudah memenuhi syarat sebagai bahan perekat, sedangkan pemeriksaan agregat bertujuan untuk mengetahui apakah agregat yang dipilih memenuhi syarat sebagai bahan susun campuran panas agregat aspal.

##### a. Pemeriksaan aspal

Pemeriksaan aspal meliputi : pengujian penetrasi untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal, pengujian terhadap titik lembek, pemeriksaan daktilitas, pemeriksaan kelarutan CCL<sub>4</sub> untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam karbon bisulfida/ tetra klorida, pemeriksaan titik nyala, pemeriksaan berat jenis, kehilangan berat. Macam pemeriksaan dapat dipresentasikan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Prosedur pengujian standar untuk aspal Pen 60/70

No	Sifat-sifat	Metode tes
1	Penetrasi (25 <sup>0</sup> C, 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991
2	Titik lembek ( <i>ring and ball test</i> )	SNI 06-2434-1991
3	Titik nyala ( <i>cleveland open cup</i> )	SNI 06-2433-1991
4	Kehilangan berat ( 163 <sup>0</sup> C, 5 jam)	SNI 06-2440-1991
5	Kelarutan (CCl <sub>4</sub> )	ASTM D 2042-81
6	Daktilitas (25 <sup>0</sup> C, 5 cm per menit)	SNI 06-2432-1991
7	Pen setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991
9	Berat jenis (25 <sup>0</sup> C)	SNI 06-2441-1991

##### b. Pemeriksaan agregat

Pemeriksaan agregat meliputi analisa saringan, pengujian kelekatan agregat, keausan, pemeriksaan terhadap berat jenis, pengujian terhadap sand equivalent. Macam pemeriksaan dapat dipresentasikan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Prosedur pengujian standar untuk agregat

No	Sifat-sifat	Metode tes
<b>Agregat Kasar</b>		
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
2	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990
3	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1969-1990
4	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990
5	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990
6	Tes abrasi Los Angeles	SNI 03-2417-1991
7	Indeks kepipihan	BS 812-75
	Kelekatan dengan aspal	SNI 03-2439-1991
<b>Agregat Halus</b>		
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990
3	Berat jenis semu	SNI 03-1970-1990
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990
5	<i>Sand equivalent</i>	SNI 03-4428-1997
<i>Filler</i>		
1	Berat jenis	SNI 03-1970-1990

### 3.4.2 Perencanaan Campuran ACWC1

Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran panas agregat aspal dengan gradasi spesifikasi Bina Marga untuk lapis ACWC1. Proporsi bahan susun campuran menggunakan perbandingan berat. Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan persentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi.

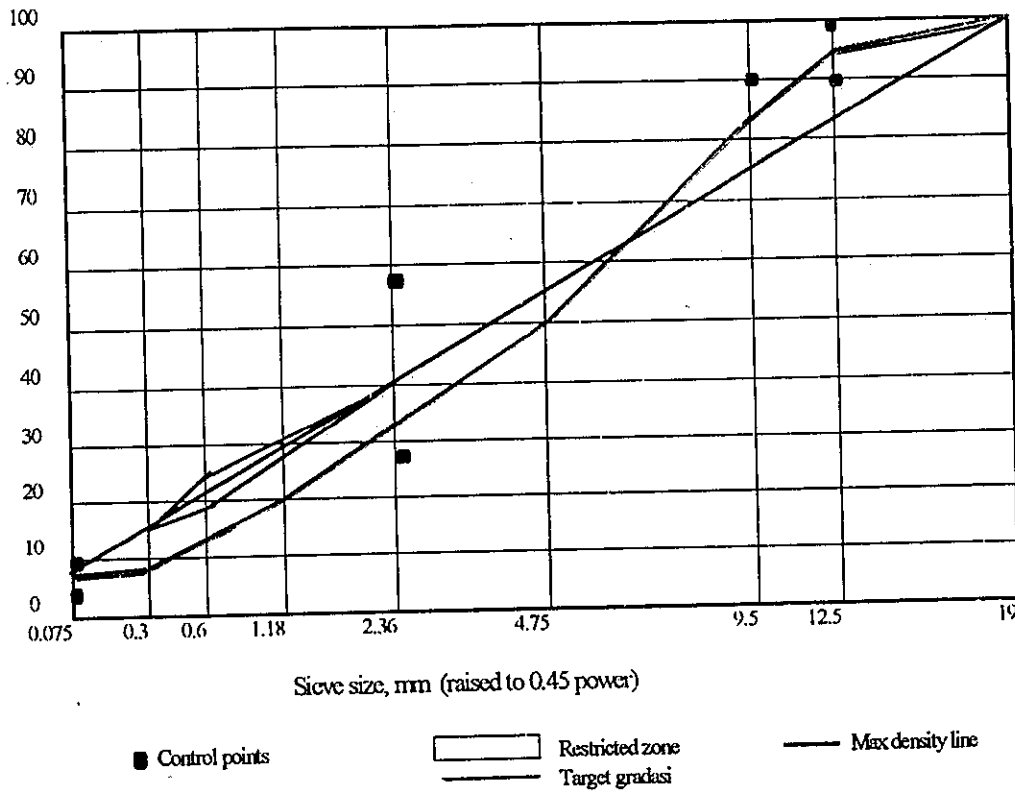
Target gradasi ditentukan sesuai spesifikasi untuk ukuran agregat maksimum 19mm (lihat tabel 3.3 dan gambar 3.2).

Tabel 3.3 Target Gradasi dengan ukuran maksimum 19 mm

Sieve mm	Control Point		Restricted zone		Target Gradasi	Persen tertahan	Berat (gram)
	Min	Max	Min	Max			
19		100,0	-	-	100,0	-	
12,5	90,0	100,0	-	-	95,0	5,0	60,0
9,5	-	90,0	-	-	84,0	11,0	132,0
4,75	-	-	-	-	50,0	34,0	408,0
2,36	28,0	58,0	39,1	39,1	35,0	15,0	180,0
1,18	-	-	25,6	31,6	20,0	15,0	180,0
0,600	-	-	19,1	23,1	13,0	7,0	84,0
0,300	-	-	15,5	15,5	8,0	5,0	60,0
0,075	4,0	10,0	-	-	7,0	1,0	12,0
Pan	-	-	-	-	-	7,0	84,0
			Total				1200

Dari tabel 3.3 Dapat diketahui proporsi masing-masing fraksi. Setiap benda uji umumnya memerlukan berat kira-kira 1200 gram untuk menghasilkan tinggi benda uji setelah dipadatkan setinggi  $63,50 \pm 1,27$  mm dengan diameter 100 mm (4 in.).





Gambar 3.2. Target Gradasi Campuran ukuran max 19 mm (ACWCI)

Untuk menentukan kadar aspal optimum diperkirakan dengan penentuan kadar aspal optimum secara empiris dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

- P<sub>b</sub> = perkiraan kadar aspal terhadap campuran, persentase berat terhadap campuran (%)
- CA = Agregat kasar tertahan saringan No. 8 (2,36 mm)
- FA = Agregat halus lolos saringan No. 8 (2,36 mm)
- FF = Bahan pengisi (filler) lolos saringan No. 200
- K = Konstanta 0,5- 1,0 untuk laston

## a. Tahap I :

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum Pb dibuat benda uji dengan tiga variasi kadar aspal diatas Pb dan dua variasi kadar aspal dibawah Pb (-1,0 %, - 0,50 %, + 0,50 %, + 1,0%, + 1,50 %), masing –masing 4 (empat) benda uji. Kemudian dilakukan pengujian Marshall 2 X 112 tumbukan untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi marshall. Dari grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall , tentukan kadar aspal optimum.

## b. Tahap II :

Buat 27 (dua puluh tujuh) benda uji masing-masing pada kadar aspal optimum dengan variasi penambahan Gilsonite 0,0 %; 2,0 %;4,0 %; 6,0 %; 8,0 % terhadap total kadar aspal, dan lakukan kembali uji Marshall dengan kepadatan mutlak (2 X 200 tumbukan) untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan , hasil bagi Marshall dan persentase stabilitas sisa setelah perendaman. Nilai *VMA* tersebut digunakan untuk menganalisis modulus kekakuan campuran ACWC1 pada temperatur 20<sup>0</sup> C, 40<sup>0</sup> C, 60<sup>0</sup> C.

Jumlah benda uji untuk percobaan Marshall dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Jumlah Benda Uji

Tahapan	Kadar aspal pen 60/70					jumlah benda uji
	-1 %	- 0,50 %	Pb	+0,50 %	+ 1,0 %	
I	4	4	4	4	4	20
	Sub total					20

II	Kadar aspal optimum + % Gilsonite					jumlah benda uji
	Temp	0,0 %	2,0 %	4,0 %	6,0 %	
20 <sup>0</sup> C	9	9	9	9	9	45
40 <sup>0</sup> C	9	9	9	9	9	45
60 <sup>0</sup> C	9	9	9	9	9	45
	Sub total					135
	Total					155

### 3.4.3 Pengujian Marshall

1. Menimbang agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat campuran kira-kira 1200 gram untuk diameter 4 inch, kemudian keringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu  $(105 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ .
2. Memanaskan aspal untuk pencampuran yaitu pada viskositas kinematik  $170 \pm 20$  centistokes, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
3. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik  $280 \pm 30$  centistokes, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dipanasi ( $95^{\circ} \text{C}$  hingga  $150^{\circ} \text{C}$ ) dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kerta lilin (*waxed paper*) yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.
4. Pemadatan dilakukan dengan pemadat manual atau elektrik dengan jumlah tumbukan 112 kali dibagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 112 kali.
5. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didinginkan pada suhu ruang kurang lebih 24 jam, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
6. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya di udara.
7. Benda uji direndam dalam air selama 10 – 24 jam supaya jenuh.
8. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air,
9. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang,
10. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu  $60^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$  selama 30 hingga 40 menit.
11. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.

12. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada dudukan diatas salahsatu batang penuntun.
13. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
14. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 in.) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibuka arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas Marshall
15. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.
16. Pengujian untuk mendapatkan nilai stabilitas sisa, dilakukan dengan merendam benda uji dalam *waterbath* temperatur 60°C selama 24 jam dan kemudian dilakukan tes Marshall.
17. Untuk pembuatan benda uji dengan penambahan gilsonite, mula-mula agregat dipanaskan pada temperatur 170<sup>0</sup> C – 180<sup>0</sup> C, aspal dipanaskan pada temperatur ± 140<sup>0</sup> C - 160<sup>0</sup> C dan gilsonite dipanaskan pada temperatur ± 170<sup>0</sup> C.
18. Aspal dan gilsonite dicampur terlebih dahulu hingga betul-betul merata, kemudian campuran aspal dan Gilsonite dicampur dengan agregat diaduk merata pada temperatur ± 170<sup>0</sup> C.
19. Campuran agregat aspal dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 200 kali pada temperatur ± 140<sup>0</sup> C.

#### 3.4.4. Uji Statistik

Masalah yang akan diselesaikan dalam percobaan ini antara lain untuk membuktikan :

- a. Apakah variasi penambahan % Gilsonite ( $X_1$ ) dan variasi temperatur ( $X_2$ ) mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap modulus kekakuan campuran.

- b. Apakah semua variabel bebas yaitu variabel Gilonite dan variabel Temperatur mempunyai pengaruh bersama-sama terhadap variabel terikat yaitu modulus kekakuan campuran.

Model yang digunakan adalah Regresi Ganda dengan persamaan :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \dots\dots\dots(3.2)$$

Digunakan uji statistik t, tingkat signifikansi ( $\alpha$ ) = 0,05

Hipotesa :

1.  $H_0 : b_j = 0$  (tak ada pengaruh  $X_j$  terhadap Y)
2.  $H_a : b_j > 0$  (ada pengaruh positif dari  $X_j$  terhadap Y)
3.  $H_a : b_j < 0$  (ada pengaruh negatif dari  $X_j$  terhadap Y)
4.  $H_a : b_j \neq 0$  (ada pengaruh dari  $X_j$  terhadap Y)

Kriteria pengambilan keputusan membandingkan nilai t hasil perhitungan dengan t menurut tabel.

Bila :  $t \text{ hitung} > t(1 - \alpha)$  ..... maka  $H_0$  ditolak,  $H_a$  diterima  
 $t \text{ hitung} < -t(1 - \alpha)$  ..... maka  $H_0$  ditolak,  $H_a$  diterima  
 $-t(1 - 1/2\alpha) < t \text{ hitung} < t(1 - 1/2\alpha)$  ..... maka  $H_0$  ditolak,  $H_a$  diterima

Digunakan uji statistik f, tingkat signifikansi ( $\alpha$ ) = 0,05

Hipotesa :

1.  $H_0 : B_1 = B_2 = 0$  (tak ada pengaruh dari  $X_1, X_2, \dots, X_i$  terhadap Y)
2.  $H_a : B_1 \neq 0$  (paling sedikit ada satu variabel yang mempengaruhi Y)

Kriteria pengambilan keputusan membandingkan nilai f hasil perhitungan dengan nilai f menurut tabel.

Bila :  $f(\text{hitung}) > f(\alpha)$  ..... maka  $H_0$  ditolak,  $H_a$  diterima  
 $f(\text{hitung}) < f(\alpha)$  ..... maka  $H_0$  diterima,  $H_a$  ditolak

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini meliputi : pemeriksaan sifat fisik aspal Pen 60/70, pemeriksaan sifat agregat, hasil pengujian Marshall, hasil analitis modulus kekakuan campuran metode Brown dan Brunton (1984).

##### 4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Hasil pemeriksaan sifat fisik aspal yang telah memenuhi spesifikasi SNI No. 1737 – 1989 – F serta penambahan bahan gilsonite dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A halaman 49 sampai dengan halaman 65.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen 60/70.

No	Sifat-sifat	Satuan	Pen 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi (25°C, 100 gr, 5 detik)	0.1 mm	60	70	62	Memenuhi
2	Titik lembek ( <i>ring and ball test</i> )	°C	48	58	54	Memenuhi
3	Titik nyala ( <i>cleveland open cup</i> )	°C	200	0	321	Memenuhi
4	Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	% berat	-	0.8	0.44	Memenuhi
5	Kelarutan (C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )	% berat	99	-	99.57	Memenuhi
6	Daktilitas (25°C, 5 cm per menit)	cm	100		140	Memenuhi
7	Pen setelah kehilangan berat	% asli	54	-	97.9	Memenuhi
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	cm	50		140	Memenuhi
9	Berat jenis (25°C)	gr/cm <sup>3</sup>	1		1.03	Memenuhi

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 Dengan Penambahan % Kadar Gilsonite.

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		% Kadar Gilsonite				
			Min	Maks	0	2	4	6	8
1	Penetrasi	0.1 mm	60	70	62	53.4	45.8	44	41
2	Titik Lembek	°C	48		54	56	57	61	65
3	Titik nyala	°C	200		321	336	342	342	342

Pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik aspal Pen 60/70 dengan penambahan gilsonite diutamakan pada nilai penetrasi, titik lembek dan titik nyala. Dan hasil pemeriksaan terlihat adanya perbedaan akibat pengaruh gilsonite. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Nilai penetrasi mengalami penurunan menandakan bahwa aspal menjadi lebih kaku, terjadi kenaikan titik lembek akibat penambahan % kadar Gilsonite. Hal ini menandakan kepekaan aspal terhadap temperatur tinggi berkurang. Perubahan nilai penetrasi dan titik lembek sebagai data masukan untuk menganalisis modulus kekakuan metode Brown dan Brunton (1984).

#### 4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pemeriksaan fisik agregat meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler* dipresentasikan pada Tabel 4.3. Hasil pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B halaman 66 sampai dengan halaman 77.

Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Minimum	Maksimum		
<b>Agregat Kasar</b>						
					1.598	Memenuhi
1	Penyerapan air	%	-	3	2.631	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-	2.746	Memenuhi
3	Berat jenis semu	-	-	-	2.689	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	-	-	-	22.2	Memenuhi
5	Tes abrasi Los Angeles	%	-	40	15.39	Memenuhi
6	Indeks kepipihan	%	-	25	98	Memenuhi
7	Kelekatan dengan aspal	%	95	-		
<b>Agregat Halus</b>						
					2.459	Memenuhi
1	Penyerapan air	%	-	3	2.624	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-	2.805	Memenuhi
3	Berat jenis semu	-	-	-	2.715	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	-	-	-	92.89	Memenuhi
5	<i>Sand equivalent</i>	%	50	-		
<b>Filler</b>						
1	Berat jenis	-	-	-	2.60	Memenuhi

Secara keseluruhan baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran ACWC1.

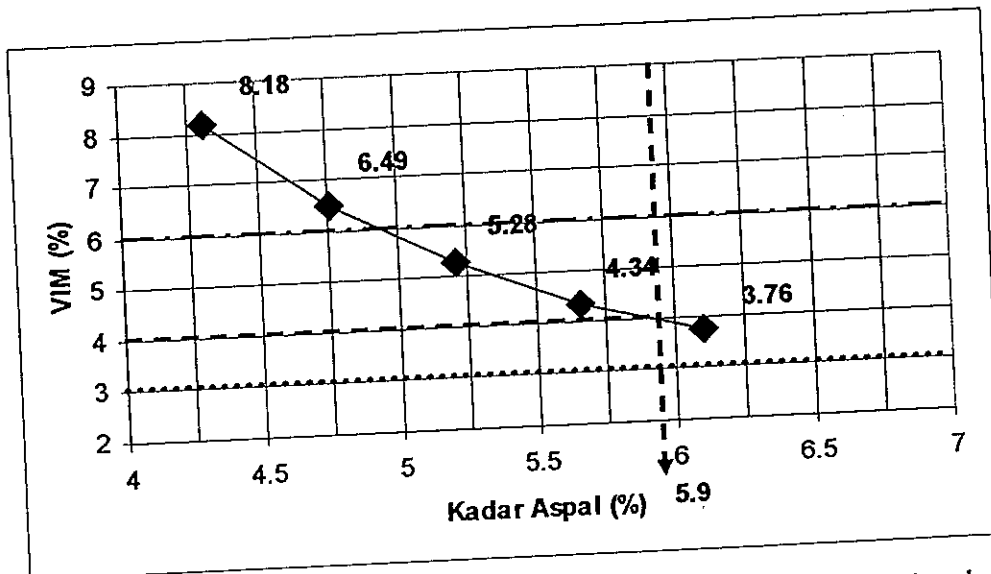
### 4.1.3. Hasil Pengujian Marshall

Pembuatan benda uji dilakukan dengan kadar aspal optimum perkiraan sebesar 5.5 % terhadap total agregat dan dilakukan variasi kadar aspal pada 4.5 %, 5.0 %, 6.0 %, 6.5 %. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran C halaman 71 sampai dengan halaman 74.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Marshall Campuran ACWC1 (2x112 tumbukan)

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			4.5	5	5.5	6	6.5
1	Kepadatan (gr/cc)	-	2.312	2.338	2.353	2.360	2.360
2	VMA (%)	min 14	15.80	15.22	15.11	15.24	15.66
3	VFA (%)	min 65	48.25	57.37	65.20	71.64	76.00
4	VIM (%)	3.0 - 6.0	8.18	6.49	5.28	4.34	3.76
5	Stabilitas (kg)	min 800	1705.00	1715.00	1648.00	1643.00	1632.00
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2.60	2.70	3.10	3.00	3.40
7	MQ (kg/mm)	min 200	701.00	648.00	547.00	530.00	462.00
8	Dust Proportion	0.6 - 1.2	1.50	1.30	1.16	1.05	0.096

Dari sifat-sifat campuran yang dihasilkan pada test Marshall tersebut diatas, pada VIM 4.0 % didapat kadar aspal optimum terhadap campuran sebesar 5.9 % dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara VIM dengan Variasi Kadar Aspal terhadap Total Campuran.



Tabel 4.5. Penentuan Kadar Aspal Optimum terhadap Total Campuran pada 2x112 Tumbukan

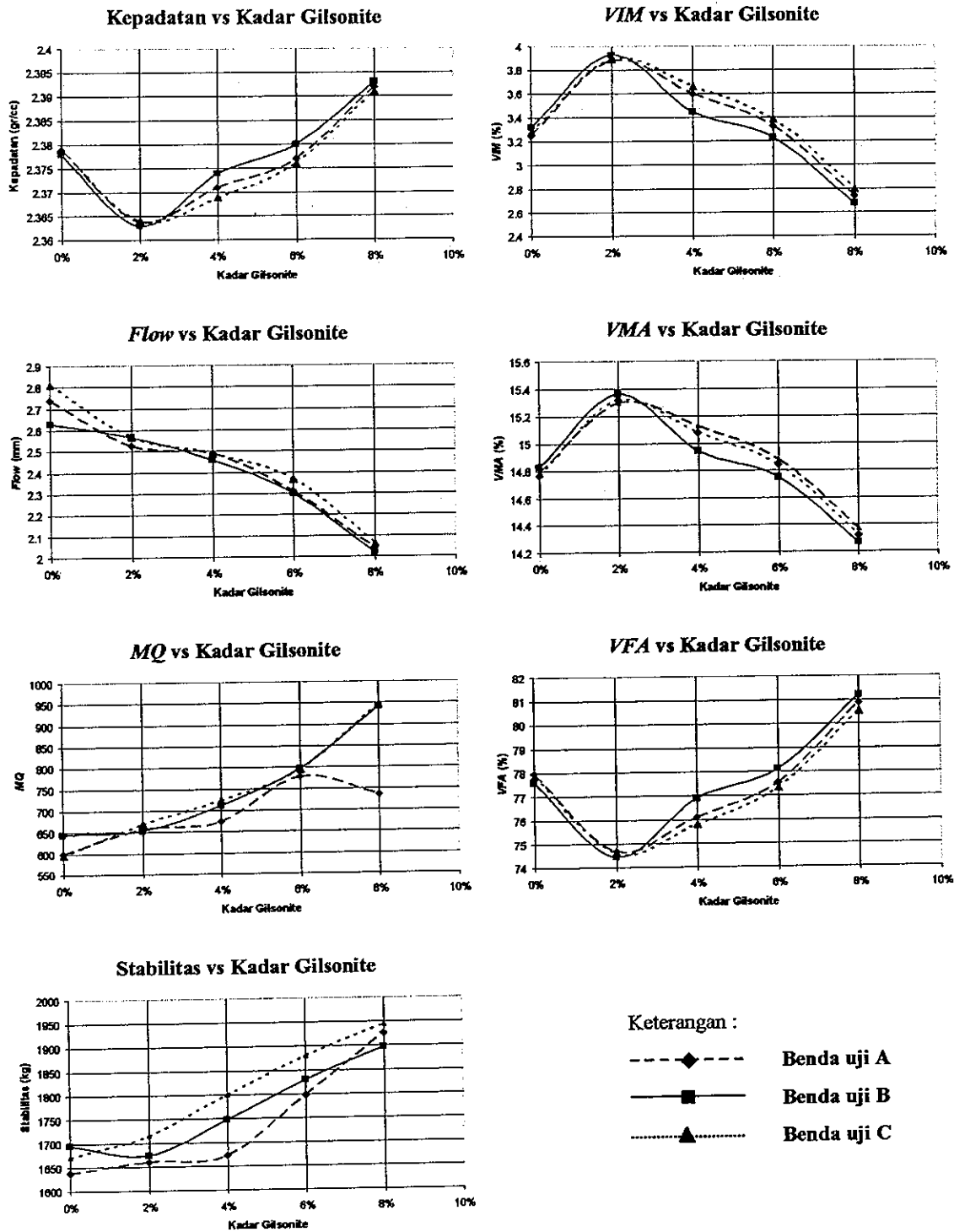
Sifat - sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal yang Memenuhi Spesifikasi						
	4	4.5	5	5.5	6	7	
Rongga Dalam Mineral Agregat <i>VMA</i>	[Shaded bar from 4.5 to 6.0]						
Rongga Terisi Aspal <i>VFA</i>	[Shaded bar from 5.0 to 6.0]						
Stabilitas Marshall	[Shaded bar from 4.5 to 6.0]						
Kelelehan Marshall	[Shaded bar from 4.5 to 6.0]						
Hasil Bagi Marshall	[Shaded bar from 4.5 to 6.0]						
Rongga Dalam Campuran <i>VIM</i>	[Shaded bar from 5.0 to 6.0]						
Rongga Dalam Campuran pada Kepadatan Mutlak <i>VIM<sub>refusal</sub></i>	[Shaded bar from 5.0 to 6.0]						

↓ 5.9

Setelah didapat kadar aspal optimum 5.9 % terhadap total campuran kemudian dilakukan percobaan Marshall Metode Kepadatan Mutlak 2x200 tumbukan. Hasil pengujian dipresentasikan pada Tabel 4.6 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C halaman 75 sampai dengan halaman 95.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Marshall Campuran ACWC1 (2x200 tumbukan) Dengan Penambahan % Gilsonite pada Kopt = 5.9 % terhadap Total Campuran

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar Gilsonite				
			0	2	4	6	8
1	Kepadatan (gr/cc)	-	2.38	2.36	2.37	2.38	2.39
2	<i>VMA</i> (%)	min 14	14.80	15.34	15.05	14.82	14.32
3	<i>VFA</i> (%)	min 65	77.80	74.59	76.29	77.67	80.86
4	<i>VIM</i> (%)	3.0 - 6.0	3.28	3.90	3.57	3.31	2.74
5	Stabilitas (kg)	min 800	1668.00	1682.90	1740.30	1836.20	1922.40
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2.70	2.55	2.48	2.33	2.04
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	613.00	660.00	704.00	790.00	875.00
8	Dust Proportion	0.6 - 1.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



Gambar 4.2. Grafik Hasil Percobaan Marshall ACWC1 + % Variasi Gilsonite Metode Kepadatan Mutlak pada Kadar Aspal Optimum 5.9 % terhadap Total Campuran

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Pengaruh Kadar Gilsonite Terhadap Nilai Karakteristik Marshall

#### a. Kadar aspal optimum

Dari hasil uji Marshall pada 112 kali tumbukan, kadar aspal optimum sebesar 5.9 % terhadap campuran ditentukan pada *VIM* sebesar 4 % dapat dilihat pada Lampiran C. Persyaratan sifat-sifat campuran telah memenuhi spesifikasi Bina Marga pada Tabel 2.5. Persyaratan tambahan berupa kontrol terhadap DP (*Dust Proportion*) yang merupakan rasio antara % *filler* dengan % kadar aspal efektif antara 0.6 – 1.2 dalam *The Asphalt Institute Superpave Mix Design*. Batasan penggunaan *filler* dimaksudkan agar campuran ACWC1 masih dalam batas lentur dan tidak mudah retak. Dalam Tabel 4.4 dan Lampiran C terlihat bahwa untuk kadar aspal sebesar 4.31 % dan 4.76 % nilai  $DP \geq 1.2$  sehingga tidak memenuhi persyaratan.

Pada kadar aspal optimum sebesar 5.9 %, 3 (tiga) benda uji dicoba dilakukan penambahan jumlah tumbukan 2 X 200 ternyata *VIM* mengalami penurunan sedangkan stabilitas mengalami peningkatan, dapat disimpulkan bahwa kepadatan mutlak tidak terjadi pada 2 X 112 tumbukan tetapi pada 2 X 200 tumbukan. Untuk uji Marshall selanjutnya dengan penambahan bahan gilsonite sebesar 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 %. Dengan jumlah tumbukan 2 x 200 dicapai kadar aspal efektif sebesar 5 % dari total berat agregat yang digunakan untuk campuran ACWC1 masih dalam batas persyaratan.

#### b. Kepadatan

Kepadatan yang dinyatakan dengan berat isi terjadi kenaikan pada setiap penambahan kadar gilsonite, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1. Nilai kepadatan tertinggi dicapai pada kadar gilsonite 8 % sebesar 2,390, sedangkan untuk kadar gilsonite 6 % mempunyai nilai kepadatan sebesar 2,380 mendekati kepadatan campuran tanpa gilsonite.

#### c. Rongga udara dalam campuran (*VIM*)

Nilai *VIM* mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar gilsonite dalam campuran aspal. *VIM* terendah 2,74 dicapai pada kadar gilsonite sebesar 8 % dan nilai tersebut dibawah batas minimal persyaratan 3 % pada Tabel 2.5. Nilai *VIM* yang terlalu rendah menyebabkan campuran rentan terhadap deformasi plastis pada saat tercapainya kepadatan mutlak akibat beban lalu lintas.

d. Rongga diantara Mineral Agregat (*VMA*)

Dari analisis uji Marshall bahwa nilai *VMA* mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar gilsonite. Nilai *VMA* terendah 14.32 % pada kadar gilsonite 8 %, secara keseluruhan nilai *VMA* masih diatas 14 % dan ini telah memenuhi persyaratan pada Tabel 2.5.

e. Rongga udara terisi aspal (*VFA*)

Rongga udara terisi aspal (*VFA*) adalah persentase dari *VMA* yang diisi bitumen tetapi tidak termasuk bitumen yang diserap oleh agregat. Persyaratan minimum 65 % pada Tabel 2.5, untuk menjamin keawetan campuran. Untuk semua variasi kadar gilsonite yang ditambahkan pada campuran nilai *VFA* memenuhi persyaratan, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.6.

f. Stabilitas

Stabilitas adalah suatu ukuran kemampuan dari campuran agregat aspal untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas. Stabilitas yang dihasilkan terendah 1682,9 kg pada penambahan 2 % gilsonite dan tertinggi sebesar 1922,4 kg pada penambahan 8 % gilsonite dan secara keseluruhan jauh diatas batas minimal 800 kg.

Hasil uji stabilitas sisa Marshall secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C halaman 75-95.

g. Kelelehan (*Flow*)

Minimal nilai *flow* 2 mm merupakan persyaratan agar campuran masih dalam batas lentur. Dari hasil analisis Marshall nilai *flow* terendah sebesar 2,04 mm pada penambahan 8 % gilsonite dan tertinggi 2,55 mm pada penambahan 2 % gilsonite. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan persen gilsonite menyebabkan campuran ACWC1 menjadi lebih kaku.

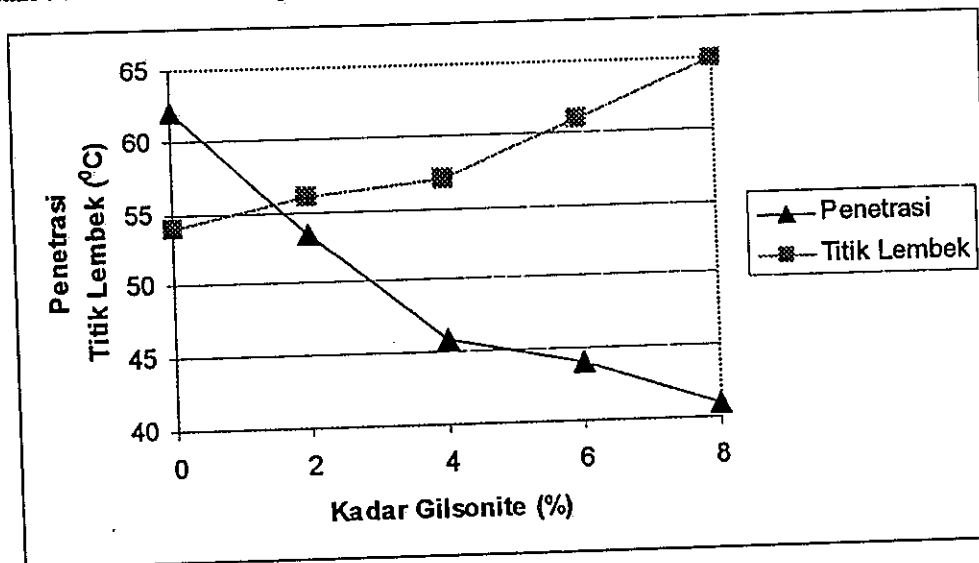
h. Marshall *Quotient*

Marshall *Quotient* yang dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap *flow* yang digunakan sebagai indicator kekakuan campuran. Nilai Marshall *Quotient* tertinggi 875 kg/mm dicapai pada campuran dengan penambahan gilsonite sebesar 8 % dan terendah 660 kg/mm pada penambahan 2 % gilsonite. Nilai keseluruhan diatas minimal persyaratan 200 kg/mm.

#### 4.2.2. Pengaruh Kadar Gilsonite Terhadap Modulus Kekakuan Aspal (Sbit)

Pengaruh penambahan gilsonite sebagai bahan pengganti sebagian aspal Pen 60/70 menyebabkan berubahnya sifat fisik pada angka penetrasi dan titik lembeknya. Angka penetrasi mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar gilsonite, hal ini mengindikasikan bahwa aspal menjadi lebih keras dan sebaliknya titik lembek mengalami kenaikan yang mengindikasikan bahwa kepekaan aspal terhadap temperatur berkurang.

Pada Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara turunnya angka penetrasi dengan kenaikan titik lembek akibat penambahan gilsonite.



Gambar 4.3. Hubungan Antara Penambahan % Gilsonite Dengan Penetrasi dan Titik Lembek.

Sedangkan Penentuan modulus kekakuan aspal dipengaruhi oleh nilai penetrasi *recovered*, titik lembek *recovered*, lama pembebanan, dan temperatur perkerasan. Hasil analisis parameter penentuan modulus kekakuan aspal dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Analisis Parameter Penentuan Modulus Kekakuan Aspal (Sbit)

% gilsonite	Pen (Pi) 0.1 mm	SP (°C)	Pr (0.1 mm)	SPr (°C)	Pir	t (detik)
0	62,0	54	40,3	561,00	-0.279	0.032
2	53,4	56	34,71	57,81	-0.248	0.032
4	45,8	57	45,8	59,57	-0.219	0.032
6	44,0	61	28,6	60,02	-0.212	0.032
8	41,0	65	26,65	60,83	-0.200	0.032

Batasan metode Brown dan Brunton untuk kondisi elastic Pir diantara -1 dan +1 serta nilai  $t$  berada diantara 0.01 dan 0.1 terpenuhi.

Untuk batasan nilai  $S_{bit} > 5$  Mpa terpenuhi hanya pada temperatur 20° C untuk semua variasi penambahan % kadar gilsonite, sedangkan pada temperatur 40° C dan 60° C persyaratan tersebut diatas tidak terpenuhi. Hal ini disebabkan bahwa aspal sudah tidak memberikan pengaruh elastis terhadap ACWC1.

#### 4.2.3. Pengaruh Kadar Gilsonite Terhadap Modulus Kekakuan Campuran (Sme)

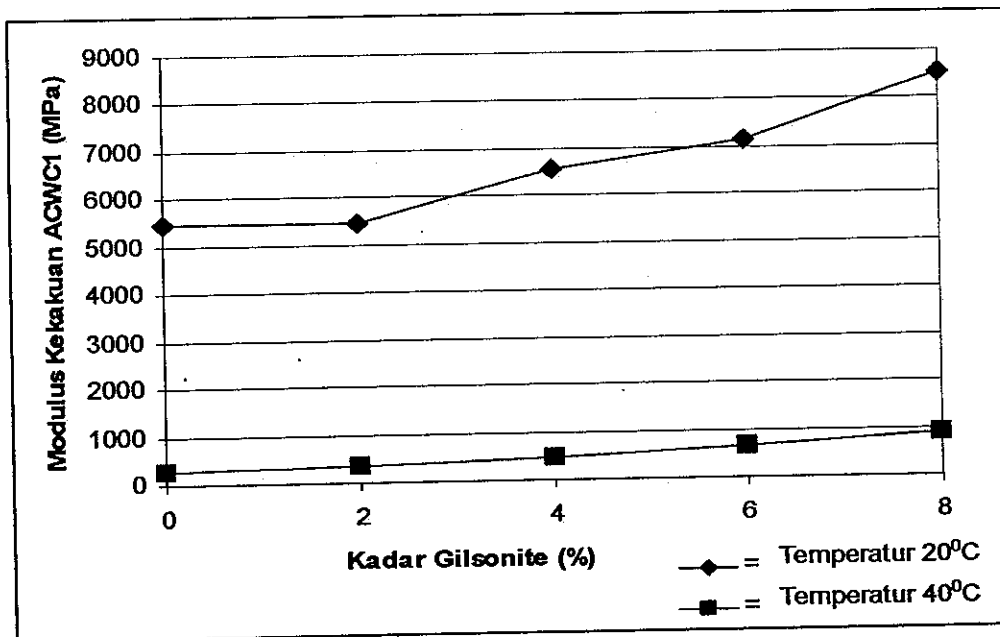
Dalam penentuan modulus kekakuan campuran metode Brown dan Brunton (1984) diperlukan parameter  $S_{bit}$  dan  $VMA$ , untuk nilai  $VMA$  didapat dari hasil pengujian Marshall. Dari uji statistik hubungan antara  $S_{me}$ ,  $S_{bit}$ ,  $VMA$  didapat nilai korelasi  $S_{bit} = 0.994$  dan  $VMA = -0.153$ , hal ini membuktikan bahwa  $S_{bit}$  memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai  $S_{me}$ , dibanding  $VMA$ .

Berdasarkan hasil analisis modulus kekakuan campuran pada Tabel 4.8 dan grafik pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada temperatur semakin tinggi, nilai modulus kekakuan campuran akan mengalami penurunan pada lama pembebanan yang sama. Hal ini dikarenakan aspal mempunyai sifat termoplastis yaitu viskositas yang terendah pada temperatur tinggi.

Pada temperatur 60° C modulus kekakuan campuran tidak dapat lagi ditentukan dengan metode Brown dan Brunton karena campuran sudah tidak dalam kondisi elastis.

Tabel 4.8.  $S_{bit}$  dan  $S_{me}$  Metode Brown dan Bunton (1984).

Gilsonite (%)	Temperatur (°C)	$S_{bit}$ (MPa)	$S_{me}$ (MPa)
0	20	33.243	5476.78
	40	0.587	253.44
	60	0	-
2	20	40.612	5468.22
	40	0.942	340.78
	60	0	-
4	20	49.517	6564.44
	40	1.464	489.78
	60	0	-
6	20	52.085	7152.56
	40	1.633	653.44
	60	0	-
8	20	56.869	8522.44
	40	1.966	892.22
	60	0	-



Gambar 4.4. Hubungan Antara Modulus Kekakuan Dengan Gilsonite dan Temperatur.

Penambahan % kadar gilsonite pada temperatur yang sama menyebabkan kenaikan nilai modulus kekakuan aspal yang berarti juga menaikkan nilai modulus kekakuan campuran. Nilai modulus kekakuan tertinggi sebesar 8522,44 MPa dicapai pada temperatur 20° C dengan penambahan 8 % gilsonite. Untuk temperatur 40°C walaupun Sbit tidak memenuhi persyaratan minimal 5 MPa, namun nilai Sme masih dapat dihasilkan oleh metode Brown dan Brunton (1984). Sedangkan untuk temperatur 60°C Sme sudah tidak dapat lagi ditentukan oleh metode tersebut diatas.

Dari uji statistik regresi linier pada Lampiran E halaman 108 hubungan antara Sme, kadar gilsonite dan temperatur didapat koefisien korelasi temperatur = - 0.877, gilsonite = 0.142, hal ini menandakan bahwa variabel temperatur lebih berpengaruh terhadap Sme dibanding variabel gilsonite. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari segi probabilitas menghasilkan angka 0,000 dan 0,0050 oleh karena probabilitas dibawah 0,050 maka korelasi antara Sme dengan kadar gilsonite dan temperatur bersifat nyata. Angka R square = 0.79, hal ini berarti bahwa 79 % Sme dapat dijelaskan oleh variabel gilsonite dan temperatur.

Dari uji annova  $f_{(hitung)} = 248,495 > f_{(tabel)} = 3.905$  berarti gilsonite dan temperatur secara bersama-sama berpengaruh terhadap Sme.

Rasio kenaikan modulus kekakuan campuran akibat kenaikan gilsonite terhadap modulus kekakuan campuran 0 % gilsonite dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Rasio Sme Akibat Penambahan Gilsonite terhadap 0 % Gilsonite.

No	Temperatur ( <sup>o</sup> C)	Rasio Sme thd 0% Gilsonite			
		2%	4%	6%	8%
1	20	0.998	1.199	1.306	1.556
2	40	1.202	1.729	2.305	3.148
3	60	-	-	-	-

Semakin tinggi temperatur rasio modulus kekakuan campuran semakin tinggi, hal ini berarti bahwa penambahan % kadar gilsonite akan memberikan hasil yang baik jika temperatur relatif tinggi. Rasio tertinggi sebesar 3,148 pada 8 % kadar gilsonite dengan temperatur 40° C.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian dan pembahasan yang telah dikemukakan di depan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan bahan gilsonite sebesar 2 %, 4 %, 6 %, 8 % terhadap total aspal sebagai pengganti sebagian Aspal Pen 60/70, dapat menurunkan penetrasi dan menaikkan titik lembek aspal.
2. Penambahan bahan gilsonite ke dalam Aspal Pen 60/70 dapat meningkatkan stabilitas campuran ACWC1. Nilai stabilitas tertinggi tercapai sebesar 1922,4 kg pada kadar aspal optimum 5.9 % dengan penambahan 8 % gilsonite. Kenaikan sebesar 15 % dibanding stabilitas tanpa bahan gilsonite mengakibatkan campuran ACWC1 mempunyai ketahanan yang lebih terhadap deformasi.
3. Stabilitas Marshall sisa yang merupakan perbandingan antara nilai stabilitas rendaman kondisi ekstrim yang dilakukan dengan perendaman selama satu kali 24 jam pada temperatur 60<sup>0</sup>C dibanding dengan stabilitas standar. Nilai stabilitas Marshall sisa dengan penambahan 8 % gilsonite adalah tertinggi yaitu sebesar 87.6 %, sedangkan tanpa penambahan gilsonite sebesar 81,90 %. Hal ini membuktikan bahwa penambahan gilsonite mampu menaikkan ketahanan campuran ACWC1 terhadap pengaruh air.
4. Modulus kekakuan yang dilaksanakan dengan metode Brown dan Brunton (1984) hanya pada temperatur 20<sup>0</sup>C yang memenuhi batasan untuk kondisi perilaku elastis.

Pada temperatur yang lebih tinggi yaitu 40<sup>0</sup>C dan 60<sup>0</sup>C nilai modulus kekakuan campuran ACWC1 mengalami penurunan yang cukup banyak, hal ini disebabkan aspal sudah dalam kondisi viscous elastis.

#### 5.2. Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut terhadap uji deformasi dan stabilitas dinamis. Hal ini untuk memperkirakan besarnya *rutting* yang terjadi pada saat tercapainya kepadatan mutlak dalam masa umur rencana. Besarnya maksimal *rutting* yang direncanakan adalah untuk mendapatkan campuran ACWC1 yang mempunyai stabilitas yang cukup

dan modulus kekakuan campuran yang tidak terlalu tinggi agar tidak rentan terhadap retak namun masih bersifat lentur.

2. Penelitian lebih lanjut terhadap *dynamic stiffness* dan *fatigue* dari campuran ACWC1 untuk mengetahui modulus kekakuan dinamis serta ketahanan terhadap kelelahan. Pengujian modulus kekakuan dinamis hendaknya dilakukan pada temperature 20°C dengan kenaikan tiap 5°C hingga mencapai temperatur sedikit di bawah titik lembek.
3. Penelitian lebih lanjut untuk menentukan minimal *shear strength* yang dibutuhkan dalam campuran ACWC1 untuk mencegah *rutting* dan membatasi modulus kekakuan dan stabilitas yang terlalu tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1993), *Guide For Design of Pavement Structure*, Washington DC.
- AUSTROADS, (1997), *Pavement Design*, Sydney 1992
- Brown SF dan Brunton, (1984), *An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavement*, 2th Edition, University of Nottingham.
- Cakra, N, (2000), *Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Kinerja Campuran Beton Aspal*.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987), *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasa Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen*, SKBI-2.326,UDC.625.73(02). Biro Penerbit PU.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1999), *Pedoman Perencanaan Campuran Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, Penerbit PU.
- Djoko, S, (2000), *Tinjauan Teknis dan Ekonomis Gilsonite Sebagai Bahan Additive Campuran Aspal Beton*.
- Harold N. Atkins, PE, (1997), *Highway Materials, Soils and Concretes*, 3th Edition Prentice Hall, New Jersey.
- Kennedy, T.W, (1996), *The Bottom Line: Superpave System Works*, The Superpave Asphalt Research Program, The University of Texas at Austin.
- Koninklijke/Shell, (1993), *Bitumen Testing*, Amsterdam 1973.
- Priyatno, B, (1999), *Perancangan Prasarana Jalan, Dalam Penataran Dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Koperties Wilayah VI*, September 1999.
- Priyatno, B, (2001), *Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan, Dalam Penataran Dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Koperties Wilayah VI*, Oktober 2001.
- Robert D. Krebs dan Richard D. Walker, (1971), *Highway Materials*, McGraw Hill, Inc.
- Shell Bitumen, (1991), *The Shell Bitumen Hand Book*.
- Silvia.S. (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova Bandung.
- The Asphalt Institute, *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements Manual Series No. 22*, Second Edition Lexington USA.
- The Asphalt Institute (1996), *Superpave Mix Design*, Superpave Series No 2(sp-2) Lexington USA.
- The Asphalt Institute (1997), *Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing*, Superpave Series No 1(sp-1) Lexington USA.

Yang H. Huang, (1993), *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall New Jersey.

Yoder.EJ dan Witzak.MW, (1975), *Principles of Pavement Design*, 2nd Edition John Wiley & Sons Inc. Canada.