

# PENGARUH PENURUNAN SUHU (DENGAN DAN TANPA PEMANASAN ULANG) TERHADAP PARAMETER MARSHALL CAMPURAN ASPAL BETON

M. Zainul Arifin, Achmad Wicaksono dan Ken Pawestri  
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
Jl. Mayjen Haryono 147 Malang

## ABSTRAK

Tahapan dari pelaksanaan konstruksi jalan meliputi tahap produksi campuran, tahap persiapan lapangan, tahap pengangkutan campuran, tahap penghamparan dan tahap pemadatan di lapangan. Dalam proses pengangkutan campuran kemungkinan terjadi perubahan cuaca sehingga menyebabkan suhu campuran beraspal menurun. Kondisi ini menyebabkan campuran beraspal tersebut tidak dapat dihamparkan pada lokasi pembangunan jalan karena suhu campuran berada dibawah suhu penghamparan dan pemadatan yang standar. Tetapi kenyataan yang banyak terjadi di lapangan adalah penghamparan dan pemadatan tetap dilakukan walaupun suhu campuran beraspal telah menurun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penurunan suhu (dengan dan tanpa pemanasan ulang) terhadap karakteristik campuran meliputi nilai VIM, VMA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* pada campuran LASTON.

Nilai suhu optimum untuk campuran tanpa pemanasan ulang adalah 104,81°C untuk campuran dengan pemanasan ulang 75°C. Campuran tanpa pemanasan ulang memiliki nilai VIM sebesar 11,794%, VMA sebesar 23,224%, Stabilitas sebesar 633,111 kg, *flow* sebesar 2,968 mm dan MQ sebesar 232,934 kg/mm. Sedangkan campuran dengan pemanasan ulang memiliki nilai VIM sebesar 7,334%, VMA sebesar 19,985%, Stabilitas sebesar 1317,713 kg, *flow* sebesar 2.201 mm dan MQ sebesar 583,643 kg/mm. Campuran tanpa pemanasan ulang tidak memiliki stabilitas optimum sedangkan campuran dengan pemanasan ulang memiliki stabilitas optimum pada suhu 80,139°C dengan nilai stabilitas 1329,423 kg. Berdasarkan penelitian ini terlihat bahwa campuran yang dipanaskan ulang mempunyai nilai stabilitas yang lebih besar daripada campuran yang tidak dipanaskan ulang.

Kata kunci : Tanpa pemanasan ulang, Dengan pemanasan ulang, LASTON, Suhu, Karakteristik Campuran, Marshall.

## PENDAHULUAN

Produksi campuran beraspal dilakukan di Instalasi Pencampur atau disebut AMP (*Asphalt Mixing Plant*) dengan menggunakan spesifikasi yang telah disyaratkan. Kemudian campuran tersebut diangkat oleh kendaraan yang bersih, dengan dinding bak tertutup agar panasnya tidak hilang. Bagian atas campuran harus ditutup ketika diangkat, atau ketika saat menunggu penuangan. Bagian dalam bak pengangkut dapat dilumuri oleh abu batu, abu batu yang terselimuti aspal, atau air sesedikit

mungkin agar campuran beraspal tidak melekat pada dinding bak. Dalam proses pengangkutan campuran kemungkinan terjadi perubahan cuaca, misalnya gerimis, hujan atau perubahan suhu pada suatu daerah yang relatif dingin sehingga campuran beraspal tersebut bisa mengalami penurunan suhu. Kondisi ini menyebabkan campuran beraspal tersebut tidak dapat dihamparkan pada lokasi pembangunan jalan karena suhu campuran berada dibawah suhu penghamparan dan pemadatan. Menurut ketentuan,

campuran beraspal yang telah mengalami penurunan suhu tidak dapat digunakan lagi karena tidak sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Tetapi kenyataan yang banyak terjadi di lapangan adalah

penghamparan tetap dilakukan dan diikuti dengan tahap selanjutnya yaitu pemadatan. Oleh karena itu perlu diteliti seberapa jauh pengaruh pemanasan ulang pada campuran lapis aspal beton yang mengalami penurunan suhu.

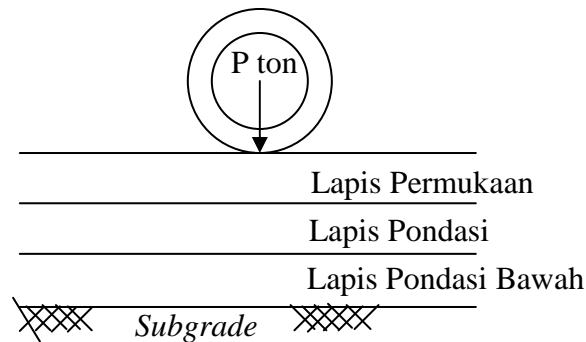
## TINJAUAN PUSTAKA

### Perkerasan Lentur Jalan Raya

Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu

lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Adapun susunan konstruksi perkerasan terdiri dari :

1. Lapis permukaan (*surface course*)
2. Lapis pondasi atas (*base course*)
3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)



Gambar 1. Susunan lapis

### Lapis Aspal Beton (LASTON)

LASTON adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus dan *filer* yang bergradasi baik yang dicampur dengan *penetration grade* aspal. Kekuatan yang didapat terutama berasal dari sifat mengunci (*interlocking*) agregat dan juga sedikit dari mortar pasir, filler dan aspal.

Gradasi dari agregat harus memenuhi ketentuan gradasi menerus. Ada sebelas gradasi agregat yang ditetapkan untuk LASTON yaitu campuran tipe I, III, IV, VI, VII, VIII,

IX, X dan XI digunakan untuk lapis permukaan, sedang tipe II untuk lapisan permukaan, leveling dan lapis antara, dan campuran tipe V dipergunakan untuk lapis permukaan dan lapis antara.

Pembuatan LASTON dimaksudkan untuk memberikan daya dukung dan berfungsi sebagai pelindung konstruksi di bawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca, sebagai lapisan aus dan menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin. Sifat-sifat LASTON adalah tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, kedap air, mempunyai nilai struktural, mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan.

## Aspal

Aspal merupakan bahan bitumen yang telah digunakan sejak dulu, hingga saat sekarang aspal dipakai untuk jenis – jenis pekerjaan perkerasan. Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal itu sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Daya tahannya (*durability*) berupa kemampuan aspal mempertahankan sifat aspal akibat pengaruh cuaca dan tergantung pada sifat campuran aspal dan agregat. Sedangkan sifat adhesi dan kohesi yaitu kemampuan aspal mempertahankan ikatan yang baik. Sifat kepekaan terhadap temperturnya aspal adalah material termoplastik yang bersifat lunak / cair apabila temperturnya bertambah.

## Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat merupakan bahan utama yang turut menahan beban yang diderita oleh bagian perkerasan jalan, begitu pula

dalam pelaksanaan perkerasan, dimana digunakan bahan pengikat aspal, sangat dipengaruhi oleh mutu agregat. Pemilihan agregat yang akan digunakan harus memperhatikan ketersediaan bahan di lokasi, jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, daya lekat agregat terhadap aspal dan berat jenisnya.

## Suhu / Temperatur

Aspal mempunyai kepekaan terhadap perubahan suhu / temperatur, karena aspal adalah material yang termoplastis. Aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau cair bila temperatur bertambah. Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda – beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan.

Informasi temperatur material beraspal saat pencampuran, penghamparan, dan pemadatan sangat penting, terutama untuk campuran dense macadam dan campuran beraspal lainnya. Spesifikasi temperatur yang direkomendasikan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rekomendasi Temperatur Pengiriman Dan Pemadatan

No.	Jenis campuran termasuk jenis bahan pengikat dan klasifikasinya	Temperatur campuran minimum di truk pengikat dalam waktu 30 menit setelah tiba di lokasi (°C)	Temperatur campuran minimum sebelum dipadatkan (°C)
1.	<b>ASPAL</b> Gradasi rapat, 100 det/200 det	75	50
2.	Gradasi rapat, pen 300	100	80
3.	Gradasi rapat, pen 200	110	85

4.	Gradasi rapat, pen 100	120	95
5.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium, 50 detik	-	-
6.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium, 100 det/200 det	60	40
7.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium, pen 300	85	65
8.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium, pen 200	95	75
9.	campuran porous pen	110	85
	<b>TAR</b>		
1.	Gradasi rapat 30°C/34°C	50	30
2.	Gradasi rapat 38°C/42°C	60	40
3.	Gradasi rapat 50°C/54°C	80	60
4.	Gradasi rapat 58°C	90	70
5.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium 30°C/34°C	50	30
6.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium 38°C/42°C	60	40
7.	Gradasi terbuka/ukuran agregat medium 46°C	60	40

Sumber : Wignail, 2003 : 95

### Perencanaan Campuran

Tujuan dari perencanaan campuran adalah untuk mendapatkan campuran agregat dan aspal yang optimal sehingga dihasilkan perkerasan dengan kualitas yang optimal. Adapun perencanaan campuran meliputi gradasi agregat (dengan memperhatikan mutu agregat) dan kadar aspal. Campuran beraspal harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Kadar aspal cukup memberikan kelenturan.
2. Stabilitas cukup memberikan kemampuan memikul beban sehingga tak terjadi deformasi yang merusak.
3. Kadar rongga yang cukup memberikan kesempatan untuk pemadatan tambahan akibat beban berulang dan *flow* dari aspal.
4. Dapat memberikan kemudahan kerja sehingga tak terjadi segregasi.
5. Dapat menghasilkan campuran yang akhirnya menghasilkan lapis perkerasan yang sesuai dengan

persyaratan dalam pemilihan lapis perkerasan pada tahap perencanaan.

Tahap-tahap dalam prosedur pembuatan campuran adalah sebagai berikut :

- Memilih jenis agregat yang akan dipakai di dalam campuran
- Memilih gradasi agregat yang akan dipakai
- Menentukan perbandingan dari tiap-tiap agregat sehingga mendapatkan campuran yang diinginkan.
- Pengujian Marshall, untuk menentukan kadar aspal optimum dalam analisis stabilitas, kelelahan, kepadatan, rongga dalam agregat, rongga terisi aspal dan rongga dalam campuran.

### Pengujian Marshall

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 5000 pon (2268 kg). *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Di samping itu terdapat juga arloji

kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

Pada metode Marshall, suatu benda uji dibentuk dalam cetakan silinder dengan diameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm) kemudian dipadatkan dengan pemukul seberat 10 *pound* (4,536 kg) yang mempunyai tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm). Pemadatan di kedua sisi dilakukan sebanyak 35, 50 atau 75 kali, tergantung pada rencana beban lalu lintas yang akan digunakan. Setelah pemadatan, benda uji dibiarkan selama 24 jam, kemudian ditimbang di udara dan air. Setelah itu benda uji derendam dalam bak perendaman pada suhu tetap 60° C selama 30 menit. Kemudian dilakukan pengujian dengan cara memberi pembebanan pada benda uji dengan kecepatan 50 mm/menit untuk menentukan stabilitas dan kelelahan.

Kinerja campuran ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi :

1. Penentuan berat volume benda uji

2. Pengujian nilai stabilitas, yaitu kemampuan maksimum benda uji menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), yaitu besarnya perubahan bentuk plastis dari benda uji akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan *Marshall Quotient*, yaitu perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*).
5. Perhitungan volume pori dalam agregat campuran (*VMA = Voids in Mineral Agregate*), yaitu banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam benda uji, dinyatakan dalam persentase.
6. Perhitungan banyaknya pori yang berada dalam campuran (*VIM = Voids In Mixture*), yaitu banyaknya pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. *VIM* dinyatakan dalam persentase terhadap volume benda uji.

Persyaratan campuran lapis aspal beton bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persyaratan Campuran Lapis aspal Beton

Sifat Campuran	Unit	Lalulintas Berat (2 x 75 tumb)	
		Min.	Maks.
Stabilitas	(kg)	550	-
Kelelahan	(mm)	2.0	4.0
Stabilitas/Kelelahan (MQ)	(kg/mm)	200	350
Rongga dalam campuran (VIM)	(%)	3.0	5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	(%)	14	-

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1987

## METODE PENELITIAN

### Rancangan Percobaan

Bahan – bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini dipilih agar dapat memenuhi spesifikasi campuran LASTON. Jenis material ini terdiri dari aspal, agregat kasar, dan agregat halus. Sebelum digunakan untuk membuat campuran, material

tersebut harus diuji untuk memenuhi standar yang digunakan. Metode pengujian karakteristik bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Standar Nasional Indonesia (SNI).

Setelah semua material yang dibutuhkan harus memenuhi pengujian karakteristik, tahap berikutnya adalah

pembuatan campuran LASTON. Ada dua perlakuan campuran yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pembuatan campuran beraspal yang mengalami penurunan suhu tanpa pemanasan ulang
2. Pembuatan campuran beraspal yang mengalami penurunan suhu dengan pemanasan ulang.

Variasi penurunan suhu yang dilakukan adalah 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C dan 110°C. Penentuan variasi penurunan suhu yang paling rendah adalah 50°C hal tersebut berdasarkan pada penelitian pendahuluan yang menunjukkan bahwa penurunan suhu dibawah 50°C menghasilkan nilai yang sangat ekstrem terhadap spesifikasi SNI, sehingga diambil suhu terendah 50°C. Sedangkan variasi suhu tertinggi diambil 110°C, hal ini berdasarkan dari SKBI – 2.4.26.1987 bahwa pemadatan dilakukan pada saat suhu campuran minimum 110°C. Perhitungan analisis

Marshall dapat dilihat di Lampiran 6, 7 dan 8.

Untuk kondisi mengalami penurunan suhu tanpa pemanasan ulang, masing – masing campuran didiamkan sampai suhu 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C dan 110°C lalu masing – masing campuran tersebut dipadatkan. Untuk campuran beraspal yang mengalami penurunan suhu dengan pemanasan ulang, masing – masing campuran didiamkan sampai suhu 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C lalu masing – masing campuran tersebut dipanaskan lagi sampai suhu pemadatan minimum yaitu 110°C selanjutnya campuran dipadatkan.

Kombinasi dari kedua faktor (perlakuan campuran yang mengalami penurunan suhu dan variasi suhu) menghasilkan 13 kombinasi perlakuan. Masing-masing kombinasi perlakuan diulang sebanyak 5 kali sehingga menghasilkan 65 benda uji. Jumlah benda uji dari masing – masing perlakuan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Benda Uji

Perlakuan Setelah Mengalami Penurunan Suhu	Suhu (° C)						
	50	60	70	80	90	100	110
Tanpa pemanasan ulang	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu
Dengan pemanasan ulang	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu	5 bu	-
<b>Jumlah</b>	<b>65 benda uji</b>						

ket : bu = benda uji

sumber: hasil perhitungan

### Metode Percobaan

1. Persiapan Benda Uji  
Agregat dan Aspal yang dipakai seperti yang tersebut dalam tabel.
2. Pembuatan Benda Uji  
Untuk tiap benda uji diperlukan agregat sebanyak 1200 gram, kemudian benda uji tersebut dimasukkan pada panci pencampur sampai panasnya mencapai suhu pemanasan agregat (standar) yaitu 145°C, sementara aspal yang telah dipanaskan pada suhu 160°C dimasukkan dalam panci

pencampur kemudian campuran diaduk – aduk dengan cepat sampai merata (agregat terselimuti aspal). Setelah tahap ini perlakuan benda uji dibedakan dengan dua macam cara :

- a) Untuk Campuran Tanpa Pemanasan Ulang  
Kemudian panci diangkat dan dibiarkan sampai suhu campuran menurun sesuai yang dikehendaki (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C dan 110°C) dengan perlakuan perulangan

untuk tiap benda uji adalah 5 kali, untuk mengecek suhu campuran adalah dengan memasukkan termometer di titik – titik tempat secara merata, setelah suhu campuran menurun sesuai yang dikehendaki maka campuran segera dimasukkan dalam mold cetakan yang alasnya sudah dilapisi dengan kertas penyerap lalu ditusuk – tusuk permukaannya sebanyak 25 kali sampai merata kemudian permukaannya ditutup dengan kertas penyerap, lalu campuran dipadatkan.

b) Untuk Campuran Dengan Pemanasan Ulang

Panci pencampur diangkat dan suhu campuran dibiarkan menurun sampai suhu yang dikehendaki (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C dan 100°C), lalu setelah mencapai suhu tersebut campuran yang masih di dalam panci dipanaskan lagi sampai suhu campuran mencapai 110°C, setiap bagian sebisa mungkin diukur suhunya hingga disetiap titik suhunya merata 110°C setelah mencapai suhu tersebut panci pencampur diangkat dan campuran langsung dimasukkan dalam mold cetakan benda uji yang alasnya sudah dilapisi dengan kertas penyerap, lalu ditusuk – tusuk permukaannya sebanyak 25 kali secara merata kemudian permukaannya ditutup dengan kertas penyerap lalu dipadatkan.

3. Pemadatan Benda Uji

Setiap benda uji setelah dimasukkan dalam mold cetakan dipadatkan sebanyak 75 kali tumbukan untuk setiap permukaan. Lalu benda uji dikeluarkan dari cetakan dan kertas penyerapnya dibuang lalu dibiarkan dalam suhu ruang selama ± 24 jam.

4. Perendaman

Setelah benda uji dibiarkan dalam suhu ruang selama ± 24 jam benda uji tersebut ditimbang dan diukur tingginya dalam keadaan kering, setelah itu direndam dalam air pada suhu ruang selama ± 24 jam, selanjutnya benda uji ditimbang lagi dalam keadaan jenuh dan ditimbang juga dalam air (berat dalam air). Benda uji kemudian dimasukkan dalam bak perendam (*water bath*) selama ± 30 menit pada suhu 60°C.

5. Pengujian

Pengujian tiap – tiap benda uji untuk mendapatkan nilai flor dan stabilitas adalah pengujian marshall estándar seperti yang dijelaskan pada bab 2.9 nomor 6.

**Uji Hipotesa**

Salah satu teknik dalam mengestimasi hipotesa ini digunakan analisis variansi (ANOVA), yaitu metode penganalisaan yang berdasarkan pada variansi dari semua observasi, sehingga penyebab kesalahan akibat interaksi, masing-masing kelompok sampel dapat diperhitungkan variabelitasnya. Analisis variansi pada penelitian ini menggunakan analisis variansi dua arah (two way – ANOVA). Uji ANOVA yang dipergunakan untuk menguji hipotesa nol lazim juga disebut dengan uji F. Harga F diperoleh dari rata-rata jumlah kuadrat antara kelompok yang dibagi dengan rata-rata jumlah kuadrat dalam kelompok. Hipotesis statistik yang diuji adalah :

- $H_0^1 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$   
 $H_0^1$  : paling sedikit satu pasang  $\mu\alpha_i$  yang tidak sama  $\neq 0$
- $H_0^2 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_j$   
 $H_0^2$  : paling sedikit satu pasang  $\mu\beta_j$  yang tidak sama  $\neq 0$
- $H_0^3 : \mu(\alpha\beta)_{11} = \mu(\alpha\beta)_{12} = \dots = \mu(\alpha\beta)_{ij}$   
 $H_0^3$  : paling sedikit satu pasang  $\mu(\alpha\beta)_{ij}$  yang tidak sama  $\neq 0$

Dimana :

$H_0$  = Hipotesis nol, yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh dari faktor jenis perlakuan setelah campuran mengalami penurunan suhu dan faktor suhu atau interaksi keduanya terhadap parameter campuran *Hot Rolled Sheet*.

$H_1$  = Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari faktor jenis perlakuan setelah campuran mengalami penurunan suhu dan faktor suhu atau interaksi

keduanya terhadap parameter campuran *Hot Rolled Sheet*.

Indikator diterima atau ditolaknya hipotesis yakni apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak, begitu juga sebaliknya, apabila  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka  $H_0$  diterima. Selain itu dapat dilihat dari taraf signifikansi (angka probabilitas) datanya. Apabila signifikansi<sub>hitung</sub> > 0,05, maka terima  $H_0$ . begitu juga sebaliknya apabila signifikansi<sub>hitung</sub> < 0,05, maka tolak  $H_0$ . Proses perhitungan analisis varians ini menggunakan bantuan program SPSS.

## PEMBAHASAN

### Suhu Optimum

Penelitian ini mengambil variasi suhu awal dari 50°C sampai 100°C dengan interval 10°C. Dalam rentang suhu tersebut akan diperoleh suhu optimum. Cara memperoleh suhu optimum adalah dengan menempatkan batas – batas spesifikasi campuran pada

gambar 2. Suhu optimum adalah nilai tengah dari rentang suhu yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Sedangkan Gambar 3. adalah diagram pita yang merupakan plot dari batas – batas spesifikasi campuran. Tabel 4. dan 5. adalah analisis perhitungan marshall pada suhu optimum.

Tabel 4. Hasil Analisis Perhitungan Marshall Pada Suhu Optimum (Campuran Tanpa Pemanasan ulang)

Karakteristik Campuran	Suhu Optimum (°C)	Persamaan Polinomial	Nilai Optimum	Spesifikasi		Keterangan.
				Min.	Maks.	
VIM (%)	104.81	$y = -0.0004x^2 - 0.0485x + 21.219$	11.794	3.1	5.0	Tidak Memenuhi
VMA (%)	104.81	$y = -0.0004x^2 - 0.0419x + 32.01$	23.224	14	-	Memenuhi
Stabilitas (kg)	104.81	$y = 0,1286x^2 - 10,592x + 330,57$	633.111	550	-	Memenuhi
Flow (mm)	104.81	$y = 0.0003x^2 - 0.0643x + 6.4114$	2.968	2.0	4.0	Memenuhi
MQ (kg/mm)	104.81	$y = 0,0543x^2 - 4,7566x + 134,98$	232.934	200	350	Memenuhi

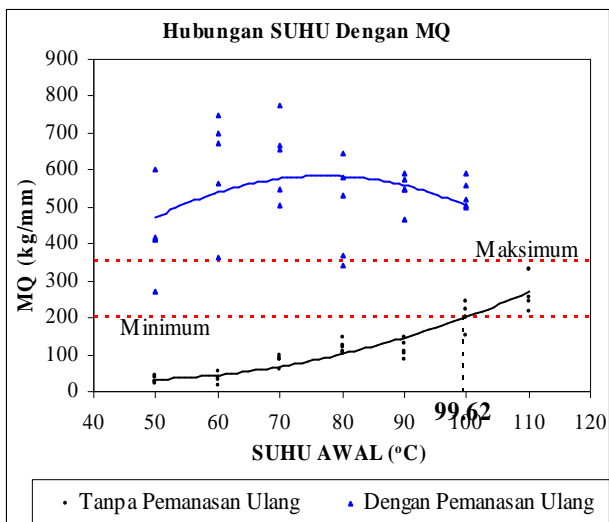
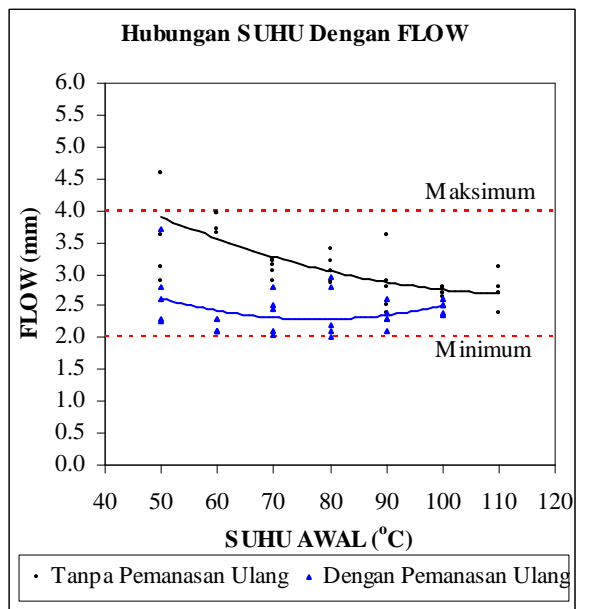
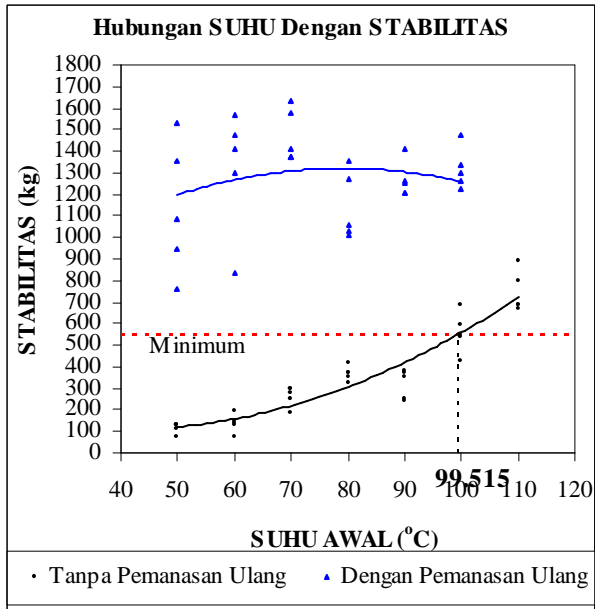
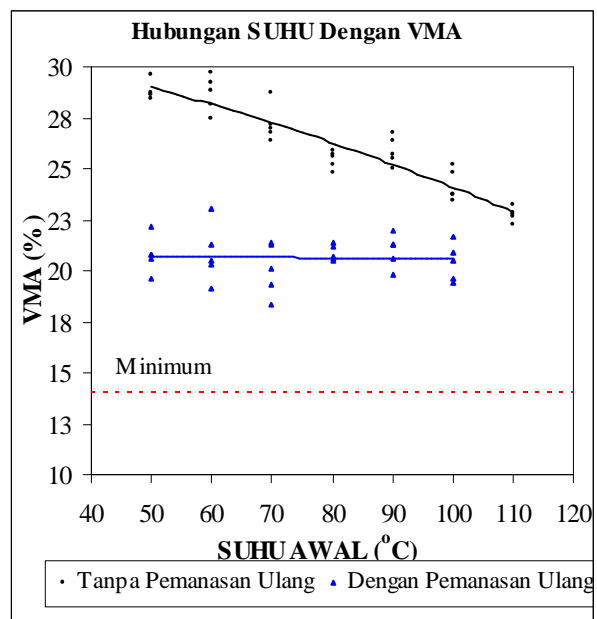
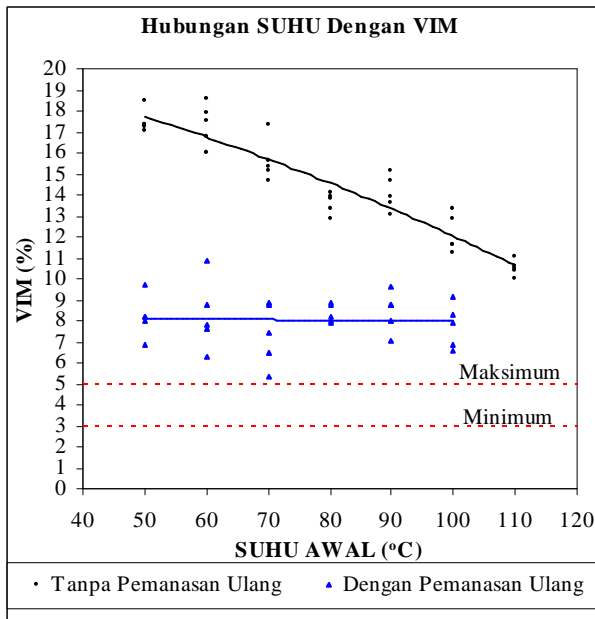
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. Hasil Analisis Perhitungan Marshall Pada Suhu Optimum (Campuran Dengan Pemanasan ulang)

Karakteristik Campuran	Suhu Optimum (°C)	Persamaan Polinomial	Nilai Optimum	Spesifikasi		Keterangan.
				Min.	Maks.	
VIM (%)	75	$y = -0.00005x^2 - 0.0135x + 8.6279$	7.334	3.1	5.0	Tidak Memenuhi
VMA (%)	75	$y = -0.00005x^2 - 0.0117 + 21.144$	19.985	14	-	Memenuhi
Stabilitas (kg)	75	$y = -0,1429x^2 + 22,667x + 421,5$	1317.713	550	-	Memenuhi
Flow (mm)	75	$y = 0.0004x^2 - 0.0648x + 4.8109$	2.201	2.0	4.0	Memenuhi
MQ (kg/mm)	75	$y = -0,1539x^2 + 23,704x - 328,47$	583.643	200	350	Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

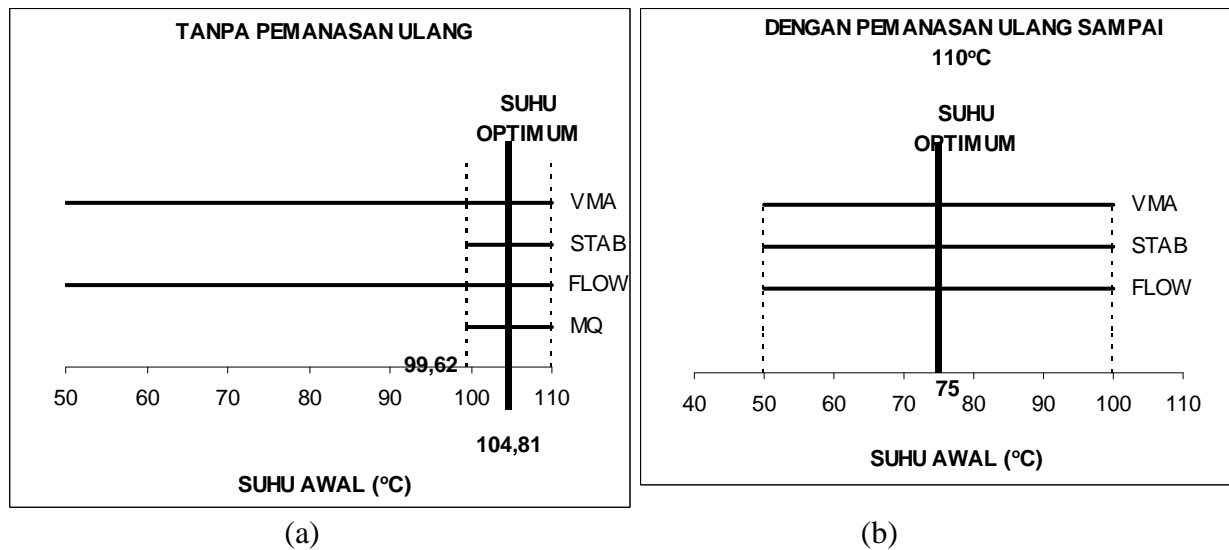




**Keterangan :**

- = Tanpa pemanasan ulang
- = Dengan pemanasan ulang
- - - = Batas Spesifikasi SNI
- - - = Batas nilai yang masuk spesifikasi

Gambar 2. Grafik karakteristik campuran



Gambar 3. Grafik penentuan Suhu Optimum

Gambar 2 adalah grafik karakteristik campuran. Dari gambar tersebut bisa didapatkan nilai – nilai parameter yang masuk spesifikasi dan yang tidak.

Dari gambar 3.a mengindikasikan bahwa campuran tanpa pemanasan ulang suhu awal optimum yang diperlukan adalah  $104^{\circ}\text{C}$ , dari batas – batas spesifikasi yang tidak memenuhi spesifikasi adalah parameter VIM. Untuk parameter VMA dan *flow* semuanya memenuhi spesifikasi, sedangkan parameter stabilitas berada pada rentang  $99,515^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ , dan untuk parameter MQ berada pada rentang  $99,620^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ . Dengan demikian nilai tengah yang didapat adalah  $104,81^{\circ}\text{C}$ .

Sedangkan untuk campuran dengan pemanasan ulang, dari Gambar 3.b terlihat bahwa parameter yang memenuhi spesifikasi adalah VMA, stabilitas dan *flow*, dimana nilai yang masuk dari ketiga parameter tersebut berada pada rentang penuh yaitu  $50^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ . Sehingga nilai tengah yang diperoleh adalah  $75^{\circ}\text{C}$ .

Suhu optimum dari campuran dengan pemanasan ulang lebih rendah dari suhu optimum dengan pemanasan ulang, hal ini dapat diterima karena tanpa pemanasan ulang campuran

mebutuhkan suhu yang cukup panas untuk menjaga suhu aspal agar dapat mengikat agregat dengan baik.

### Stabilitas Optimum

Stabilitas Optimum adalah nilai stabilitas yang didapat dari nilai suhu optimum hasil dari penurunan persamaan polinomial. Nilai  $x$  pada perhitungan dibawah adalah nilai suhu optimum. Selanjutnya nilai  $x$  tersebut dipakai acuan untuk mencari nilai – nilai optimum pada parameter Marshall yang lain yaitu VIM, VMA, *Flow* dan MQ. Dasar pengambilan nilai stabilitas dijadikan acuan adalah karena parameter stabilitas adalah yang paling menentukan dalam konstruksi perkerasan jalan. Yang tercantum dibawah adalah perhitungan nilai optimum pada campuran dengan pemanasan ulang, sedangkan campuran tanpa pemanasan ulang tidak tercantum karena tidak didapat nilai suhu optimum pada parameter stabilitas.

Tabel 6 adalah analisis perhitungan marshall pada suhu optimum dengan acuan stabilitas. Dari persamaan polinomial didapat nilai optimum untuk tiap parameter sehingga bisa diketahui nilai optimum tersebut memenuhi spesifikasi atau tidak.

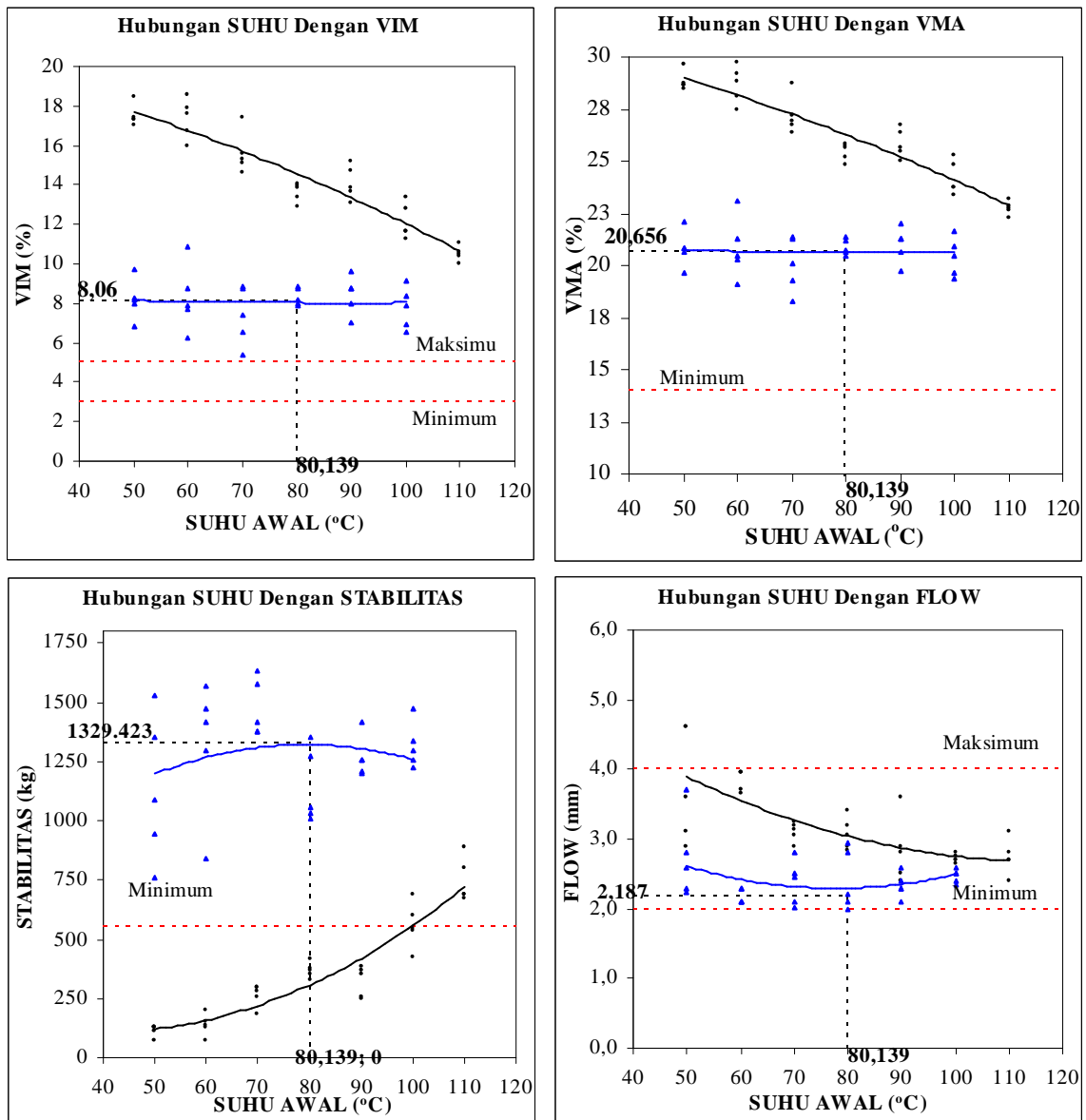
Tabel 6. Hasil Analisis Marshal Pada Suhu Optimum

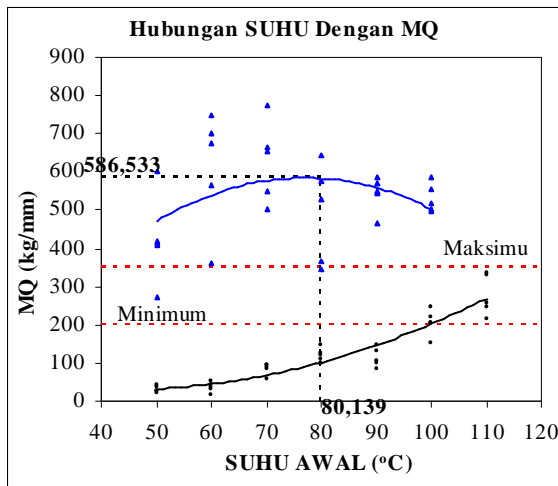
Karakteristik Campuran	Suhu Optimum (°C)	Nilai Optimum	Spesifikasi		Keterangan.
			Min.	Maks.	
Stabilitas (kg)	80,139	1329,423	550	-	Memenuhi
VIM (%)	80,139	8,060	3.0	5.0	Tidak Memenuhi
VMA (%)	80,139	20,656	14	-	Memenuhi
Flow (mm)	80,139	2,187	2.0	4.0	Memenuhi
MQ (kg/mm)	80,139	586,533	200	350	Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar 4. adalah grafik dari perhitungan stabilitas optimum yang

akan menentukan nilai optimum dari parameter yang lain.





Keterangan :

- = Tanpa pemanasan ulang
- = Dengan pemanasan ulang
- - - = Batas Spesifikasi SNI
- - - = Nilai Optimum

Gambar 4. Grafik Stabilitas Optimum

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Campuran LASTON dengan kadar aspal 6% yang mengalami penurunan suhu lalu dipanaskan ulang akan menghasilkan suhu optimum yang berbeda bila dibandingkan dengan campuran yang tidak dipanaskan ulang. Suhu optimum untuk campuran yang tidak dipanaskan ulang adalah 104,81°C sedangkan untuk campuran yang dipanaskan ulang sampai suhu 110°C adalah 75°C.

Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan pemanasan ulang sangat berpengaruh karena campuran beraspal yang telah mencapai suhu rendah membutuhkan banyak aspal untuk mencapai ikatan agregat yang optimal.

2. Campuran yang tidak dipanaskan ulang nilai VIM nya tidak ada yang memenuhi spesifikasi SNI, sedangkan nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi adalah yang berada di atas suhu 99,515°C dan untuk nilai MQ yang memenuhi

adalah yang diatas 99,62°C. Untuk nilai VMA, dan kelelahan (*flow*) semuanya memenuhi spesifikasi.

Sedangkan untuk campuran dengan pemanasan ulang, nilai stabilitas, VMA, dan kelelahan (*flow*) semuanya memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk Nilai VIM dan MQ tidak ada yang masuk dalam spesifikasi.

3. Campuran yang dipanaskan ulang stabilitas optimumnya pada suhu 80,139°C dengan nilai stabilitas 1329,423 kg. Sedangkan untuk campuran tanpa pemanasan ulang tidak dapat diperoleh stabilitas optimum karena nilainya berada diluar rentang suhu yang diteliti.
4. Berdasarkan hasil analisis statistik diperoleh bahwa  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , hal tersebut menunjukkan perlakuan dengan pemanasan ulang dan tanpa pemanasan ulang dalam campuran LASTON dapat mempengaruhi nilai parameter uji Marshall yang meliputi VIM, VMA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Transportasi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sebagai tempat pelaksanaan

penelitian serta semua pihak atas dukungan dan partisipasinya selama penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston Untuk Jalan Raya)*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1990, *SK SNI M – 1990 – F*, Badan Litbang PU, Jakarta.
- Suharto, Ign, dkk, 2004, *Perekayasaan Metodologi Penelitian*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Sukirman, Silvia, 1995, *Perencanaan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Sukirman, Silvia, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Grafika Mardi Yuana, Bogor.
- Suryadharma, Hendra & Benidiktus Susanto, 1991, *Rekayasa Jalan Raya*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Wignail, Artur, dkk, 2003, *Proyek Jalan (Teori dan Praktek)*, Erlangga, Jakarta.