

## PERCOBAAN APLIKASI LAPANGAN PENAMBAHAN LIMBAH POLIPROPILEN KE DALAM CAMPURAN BERASPAL DENGAN CARA KERING

Tjitjik W.Suroso

Puslitbang Jalan dan Jembatan, Jln. A.H.Nasution No.264 Bandung

### **RINGKASAN**

*Untuk meningkatkan mutu campuran beraspal dengan cara penambahan limbah polipropilen cara basah (wet process) yaitu pencampuran limbah polipropilen kedalam aspal terdapat beberapa kendala antara lain temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan asap dan membutuhkan alat pengaduk, meninggalkan sisa aspal dalam tangki aspal yang cukup banyak yaitu sekitar 3 ton yang tentu saja tidak ekonomis.*

*Untuk itu dicari cara lain untuk pencampuran limbah polipropilen kedalam campuran beraspal dengan cara kering (dry process) yaitu mencampurkan limbah polipropilen kedalam agregat panas pada temperatur campuran yang diperoleh dari pengujian di laboratorium.*

*Dari hasil percobaan lapangan sampai umur 6 bulan diperoleh hasil mutu campuran beraspal cara kering mempunyai kinerja lebih baik dari campuran beraspal dengan aspal pen 60 antara lain Stiffness modulus lebih besar, Stabilitas Dinamis lebih besar, Kecepatan Deformasi lebih kecil, kepadatan lebih besar, alur lebih kecil serta dari hasil pengamatan lendutan dengan alat FWD perkerasan dengan campuran beraspal pencampuran limbah polipropilen cara kering lebih kecil dari perkerasan jalan dengan aspal pen 60.*

*Dengan keberhasilan ini menunjukkan cara pencampuran kering mempunyai prospek untuk dapat diaplikasikan didaerah-daerah dimana tidak tersedia alat pengaduk.*

### **Kata kunci :**

*Aspal , Cara kering, polipropilen, limbah, Kepadatan, Alur, campuran beraspal*

## **SUMMARY**

*To improve the quality of asphalt mix by adding polipropilen (waste material) in wet process has several constraints such as high temperature which generates smoke requires a mixer, three tones of asphalt residu left in the tank and it is an uneconomical use of resource. Therefore, another method of dry process should be experimented was experimented to add polipropilen into asphalt mixture namely by mixing polipropilen and hot aggregates at mix temperature obtained from laboratory tests.*

*The field experiment results after six months show that the quality of asphalt mixture by dry process has a better performance than asphalt mixture using asphalt pen 60 such as greater stiffness modulus and dynamix stability, little rate of deformation, a greater degree of compaction, less rutting. Base on observation result using FWD comparing to road pavement with asphalt pen 60.*

*The success of the experiment, mixing method by dry process has a good prospect to be applied in areas where mixer are not available.*

*Key word: Asphalt , dry process, polipropilen, waste, density rut, mixed asphalt*

## **LATAR BELAKANG**

Kemajuan teknologi otomatis diikuti pula kebutuhan masyarakat yang tentu saja menyebabkan besar dan beban lalu lintas meningkat. Kondisi demikian akan membawa dampak kerusakan jalan sebelum umur pelayanan dilalui. Hal ini disebabkan perkerasan jalan tertentu sudah tidak mampu lagi menahan beban kendaraan.

Tentu saja persoalan ini harus dicarikan solusinya. Salah satu dengan cara meningkatkan mutu aspal sehingga kinerja campuran beraspal dapat meningkat yang pada akhirnya

dapat menaikkan umur pelayanan perkerasan jalan tersebut.

Bahan untuk menaikkan mutu aspal atau kinerja campuran beraspal salah satunya adalah dengan limbah Polypropilen yang telah dimodifikasi dengan maksud untuk mempermudah Pencampurannya.

Untuk meningkatkan mutu campuran beraspal dengan cara pencampuran limbah polipropilen cara basah (*wet process*) yaitu pencampuran limbah polipropilen kedalam aspal terdapat beberapa kendala antara lain temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan asap, membutuhkan alat pengaduk, dan atau meninggalkan sisa aspal dalam tangki aspal yang cukup

banyak yaitu sekitar 3 ton yang tentu saja tidak ekonomis.

Untuk itu dicari cara lain untuk pencampuran limbah polipropilen kedalam campuran beraspal dengan cara kering (*dry process*) yaitu mencampurkan limbah polipropilen kedalam agregat panas pada temperatur campuran yang diperoleh dari pengujian di laboratorium.

### **PERMASALAHAN**

Pencampuran limbah polipropilen kedalam aspal terdapat beberapa kendala antara lain temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan asap dan membutuhkan alat pengaduk, meninggalkan sisa aspal yang tidak tersedot dalam tangki aspal yang cukup banyak yaitu sekitar 3 ton yang tentu saja tidak ekonomis serta tidak selalu setiap Unit pencampur aspal tersedia alat pengaduk (*mixer*).

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Aspal merupakan bahan yang viscoelastik dimana tergantung pada temperatur dan lama pembebanan, apabila pada temperatur rendah berupa semi padat dan pada temperatur tinggi berupa cair. Sebagai bahan

perkerasan jalan yang akan digunakan pada lokasi yang mempunyai temperatur udara atau temperatur perkerasan yang cukup tinggi maka diperlukan aspal yang mempunyai titik leleh tinggi sehingga perkerasan tidak mudah menjadi lunak yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kerusakan berupa alur, gelombang, disamping faktor cuaca dan air. Masalah ini dapat diperoleh apabila titik leleh aspal tinggi maka akan menghasilkan Indeks Penetrasi tinggi dan kekakuan yang cukup untuk dapat menanggulangi terjadinya persoalan tersebut. Salah satunya dengan menambahkan polipropilen.

Agar campuran beraspal dapat lebih tahan terhadap deformasi maka campuran beraspal harus mempunyai *Stiffness* modulus yang tinggi hal tersebut dapat diperoleh dari aspal yang mempunyai titik leleh tinggi sehingga Indeks Penetrasi aspal naik. Untuk menentukan *stiffness* aspal maka diperlukan data Indeks Penetrasi.

Indeks Penetrasi aspal dapat dihitung berdasarkan formula/rumus yang telah dikembangkan oleh V.D .Pools, merupakan hubungan antara titik leleh aspal dan penetrasi aspal.

$$PI = \frac{20(1 - 25 A)}{(1 + 50 A)}$$

dengan

$$A = \frac{(\log \text{ pen pada } T_1 - \log 800)}{(T_1 - \text{ Titik lembek})}$$

dengan

$T_1$  = temperatur pengujian ( $^{\circ}\text{C}$ )

Titik lembek aspal ( $^{\circ}\text{C}$ )

### Polimer

Polimer atau dalam perdagangan dikenal dengan nama plastik adalah gugusan molekul yang terdiri dari banyak monomer. Nama polimer sesuai dengan nama monomer misalkan Propilen, polimernya dinamakan polypropilen dst. Dilihat dari bentuk molekul polimer dapat dibedakan berdasarkan gugusannya yaitu linier atau sambung silang. Ikatan linier lebih mudah untuk dipecah sedangkan yang berbentuk sambung silang (kembali 100 %) sifat ini dimiliki polimer jenis elastomer dan Plastik deformasi sifat ini dimiliki oleh polimer jenis plastomer (plastik). Plastik umumnya terbuat dari olefin yaitu gugusan hidro karbon yang mempunyai rantai rangkap yang disebut dengan

olefin. Antara lain polyethylene dan polypropilen yang umum digunakan untuk keperluan rumah tangga disamping Polyethylen tereftalat untuk keperluan pelapis kaca mobil, PVC

### Teknik pencampuran polipropilen

Pencampuran polipropilen/ plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada dua cara yaitu cara basah dan cara kering.

- Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional. Cara ini umumnya dilakukan di pabrik (*premix*).
- Cara kering yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran (*mixed in place*), kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah karena tidak perlu

ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Disamping itu lebih mudah, hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggung jawabkan kehomogenan dan keseragamannya kadar plastik dalam campuran beraspal.

## **HIPOTESIS**

Dengan menambahkan limbah polipropilen cara kering kedalam agregat panas diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal.

## **METODOLOGI**

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dan lapangan pada lalu lintas padat dan beban cukup berat menggunakan aspal pen 60 dan limbah polipropilen mutu rendah sebagai bahan untuk meningkatkan kinerja campuran beraspal.

## **Bahan**

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

- Aspal pen 60 produksi dalam negeri.
- Agregat hasil pemecah batu milik PT Adhi Karya.
- Limbah polipropilen.

## **Peralatan**

Peralatan yang digunakan adalah :

- 1 Unit alat Unit Pencampur Aspal.
- 1 Unit alat penghampar, pemadat besi dan pemadat karet.
- 1 Unit alat Marshall.
- 1 Unit alat Wheel tracking Machine.
- 1 Unit alat UMATTA.

## **Lokasi Percobaan**

Lokasi Percobaan antara Kalijati Subang dan Sadang pada km 16 arah Subang, dengan menggunakan aspal pen 60 dan campuran beraspal pen 60 dan limbah polipropilen dengan cara pencampuran kering, dengan susunan tebal dan jenis perkerasan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.**

Lokasi aplikasi lapangan campuran beraspal dengan limbah polipropilen cara kering

Arah lalu lintas	Campuran beraspal dengan Aspal pen 60	Campuran beraspal dengan Aspal pen 60 dan limbah polipropilen cara kering
Arah Kalijati Subang	Tebal 5 cm panjang 50 m	Tebal 5 cm panjang 50 m
Arah Sadang	Tebal 5 cm panjang 50 m	Tebal 5 cm panjang 50 m

Dengan jumlah kendaraan yang lewat mendekati 9.696 kendaraan serta *Equivalen Single Axle Load* (ESAL) yang diatas 1 juta maka lokasi penelitian dilapangan dapat dikatakan jalan dengan lalu lintas padat dan berat.

#### **Teknik Pengambilan Data**

Teknik pengambilan data penelitian ini antara lain

- Pengujian mutu aspal pen 60. Mutu aspal harus memenuhi syarat sehingga dapat digunakan untuk percobaan aplikasi cara kering dilapangan.
- Pengujian mutu agregat. Mutu agregat harus memenuhi standar yang disyaratkan.

- Pengujian JMF (*Job Mix Formula*) untuk menentukan kadar aspal optimum yang akan digunakan di Unit Pencampur aspal
- Temperatur pencampuran, yaitu dengan melakukan pengujian viskositas aspal pada  $280 \pm 30$  cST dan temperatur pemadatan viskositas aspal pada  $170 \pm 20$  Cst.

#### **Hasil dan Pembahasan**

##### **Pengujian bahan**

##### **Aspal Pen 60**

Hasil pengujian mutu aspal yang digunakan untuk penelitian ini tertera pada Tabel 2.

**Tabel 2.**  
Hasil pengujian mutu aspal pen 60

No	Jenis Uji	Satuan	Cara Uji	Hasil	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C, 100gr, 5det	0,1mm	SNI 06.-2456-1991	63	60 - 79
2	Titik lembek,	°C,	SNI 06.-2432-1991	48	48 - 54
3	Daktilitas, 25°C	cm	SNI 06.-2434-1991	>140	Min 100
4	Kelarutan dlm TCE	%	SNI 06.-2438-1991	99+	Min 99
5	Titik nyala COC	°C,	SNI 06.-2433-1991	315	Min 225
6	Berat Jenis	g/ml	SNI 06.-2488-1991	1,029	Min 1,0
7	Penurunan berat(TFOT)	%	SNI 06.-2441-1991	0,06	Maks 0,8
8	Penetrasi setelah TFOT	%asli	SNI 06.-2456-1991	89	Min 54
9	Daktilitas setelah TFOT	cm	SNI 06.-2434-1991	>140	Min 50
10	Kadar parafin	%	SK SNI M 09-1993-03	0,07	Maks 2

Dari hasil tersebut menunjukkan aspal pen 60 memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

### **Agregat**

Agregat yang digunakan untuk penelitian ini mempunyai karakteristik seperti pada Tabel 3 dan terlihat bahwa hasilnya memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya

**Tabel 3.**  
Hasil Pengujian Mutu agregat

No	Jenis Uji	Hasil			Persyaratan
		Kasar	Sedang	Halus	
1	- Berat Jenis Bulk	2,637	2,637	2,650	Min 2,5
	- Berat Jenis Kering permukaan	2,686	2,686	2,708	
	- Berat Jenis Semu	2,774	2,777	2,813	
2	Penyerapan (%)	1,867	1,868	2,187	Maks 3
3	Kepipihan (%)	5,88	4,21	-	
4	Abrasi (%)	13,91			Maks 40
5	Setara pasir (%)			68,81	Min 50
6	Ketahanan terhadap Impact (%)	12,96	-	-	-
7	Kelekatan	95+	-	-	Min 95 %
8	Angularitas	97,8	98,7	-	Min 95 %
				50,3	Min 45

### Komposisi Agregat

Komposisi Agregat yang digunakan baik di laboratorium maupun di Unit Pencampur Aspal adalah yang memenuhi persyaratan sesuai gradasi SHRP yaitu gradasi yang tidak memotong daerah "terlarang". Untuk percobaan ini digunakan gradasi yang lewat bawah daerah *Fuller* karena menggunakan polimer dengan maksud mendapatkan gradasi yang agak kasar agar konstruksi lebih kuat.

- Agregat kasar ; 15 %
- Agregat sedang ; 40 %

- Agregat halus ; 45 %

### Job Mixed Formula (JMF)

Untuk menentukan berapa kadar aspal yang akan digunakan pada pelaksanaan percobaan lapangan maka dilakukan JMF. Kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 6,25 %, kadar aspal tersebut digunakan campuran beraspal pen 60 sebagai pembanding dan untuk campuran beraspal dengan tambahan polimer cara kering. Hasil penentuan JMF untuk percobaan penghamparan aspal pen 60 dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.**

Hasil penentuan JMF untuk percobaan penghamparan aspal pen 60

No	Jenis pengujian	Satuan	Aspal pen 60
1	Kadar aspal optimum	%	6,25
2	Density	Ton/m <sup>3</sup>	2,280
3	Stabilitas	Kg	980
4	Kelelehan	Mm	3,5
5	Kadar rongga antara agregat	%	17,8
6	Kadar rongga dalam campuran	%	4,5
7	Kadar rongga terisi aspal	%	72,5
8	Hasil bagi Marshall	Kg/mm	275
9	Stabilitas sisa	%	80



### **Pengujian mutu campuran beraspal dari Unit pencampur Aspal**

Hasil pengujian mutu campuran beraspal aspal pen 60 dan campuran beraspal plus limbah polipropilen mutu rendah untuk percobaan aplikasi lapangan yang diambil dari Unit Pencampuran Aspal seperti tertera pada Tabel 5.

### **PEMBAHASAN**

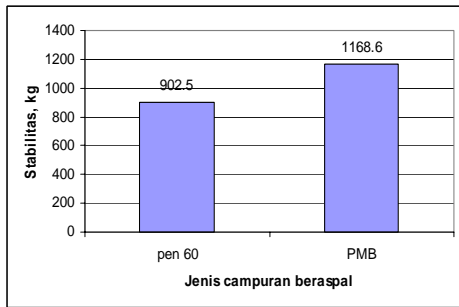
Dari hasil campuran beraspal yang diambil dari Unit pencampur aspal untuk

pelaksanaan percobaan penghamparan aspal plus limbah polipropilen cara kering menunjukkan :

- a. Stabilitas Marshall campuran beraspal dengan limbah polipropilen lebih tinggi dari stabilitas Marshall campuran beraspal dengan pen 60. Sehingga campuran beraspal dengan limbah polipropilen akan lebih tahan terhadap deformasi dibandingkan dengan campuran beraspal dengan aspal pen 60.

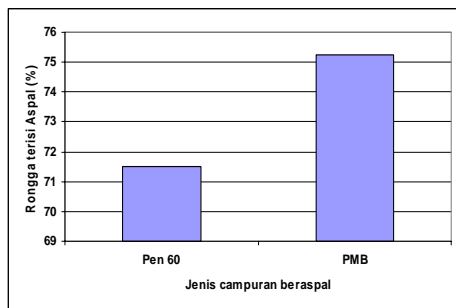
**Tabel 5.**  
Hasil pengujian mutu campuran beraspal hasil pencampuran di Unit Pencampur Aspal.

No	Jenis pengujian	Campuran beraspal plus Polipropilen, cara kering	Aspal pen 60	Persyaratan
1	Kadar aspal optimum, %	6,25	6,25	
2	Density, g/ml	2,293	2,282	
3	Stabilitas, Kg	1168,6	902,5	Min 800
4	Kelelehan, mm	3,73	3,89	Min 2
5	Kadar rongga antara agregat, %	17,34	18,12	Min 15
6	Kadar rongga dalam campuran, %	4,3	5,2	3,9 - 4,9
7	Kadar rongga terisi aspal,%	75,25	71,5	Min 68
8	Hasil bagi Marshall. Kg/mm	317,4	237,1	Min 300



**Gambar 1.** Jenis campuran beraspal Vs Stabilitas Marshall

- b. Rongga terisi aspal (VFB) campuran beraspal dengan limbah polipropilen lebih besar dari campuran dengan aspal pen 60 dengan demikian tebal lapisan film aspal lebih tebal dari tebal lapisan film campuran beraspal dengan aspal pen 60, dengan demikian campuran beraspal plus limbah polipropilen mutu rendah akan lebih tahan terhadap oksidasi dibandingkan dengan campuran beraspal dengan aspal pen 60.

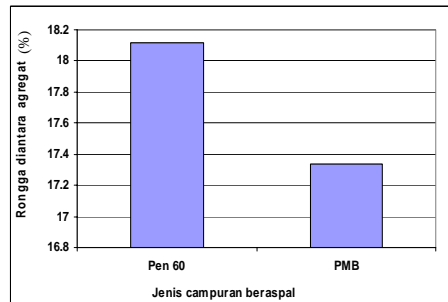


PMB = Campuran beraspal plus Limbah polipropilen  
 Pen 60 = campuran beraspal dengan aspal konvensional pen 60.

**Gambar 2.** Jenis campuran beraspal Vs Rongga terisi bitumen

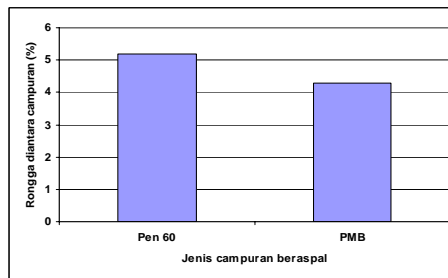
### Rongga diantara Agregat (VMA)

Rongga diantara agregat (VMA) campuran beraspal dengan aspal pen 60 lebih besar dari campuran beraspal dengan aspal plus limbah polipropilen, sehingga campuran beraspal dengan aspal plus limbah polipropilen akan lebih tahan terhadap oksidasi karena mempunyai rongga lebih kecil sehingga udara lebih sulit menembus campuran beraspal/perkerasan.



**Gambar 3.** Jenis campuran beraspal Vs Rongga diantara agregat(VMA)

### Rongga dalam Campuran Beraspal (VIM)

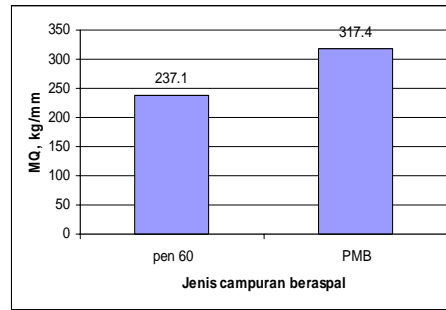


**Gambar 4.** Jenis campuran beraspal Vs Rongga dalam campuran

Rongga dalam campuran (VIM) campuran beraspal aspal pen 60 lebih besar dari campuran beraspal dengan aspal plus limbah polipropilen sehingga campuran beraspal plus limbah polipropilen akan lebih tahan terhadap oksidasi karena mempunyai rongga lebih kecil sehingga udara lebih sukar menenbus campuran beraspal.

### Hasil bagi Marshall (MQ)

Hasil bagi stabilitas dengan kelelahan (*Marshall Quotient*) campuran beraspal dengan bahan tambah plastik lebih besar dari hasil bagi stabilitas dengan kelelahan campuran beraspal dengan aspal pen 60 dengan demikian campuran beraspal plus plastik akan lebih tahan terhadap deformasi dibandingkan dengan campuran beraspal dengan aspal pen 60. Sehingga diperkirakan campuran beraspal plus plastik akan lebih awet, lebih tahan sehingga umur pelayanannya lebih lama dari pada campuran beraspal pen 60.

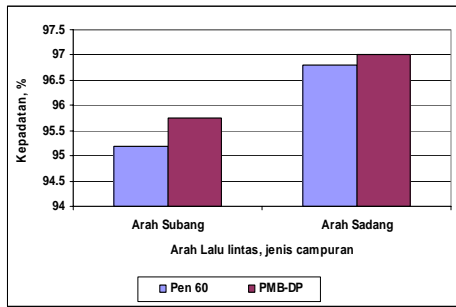


**Gambar 5.** Jenis campuran beraspal Vs MQ

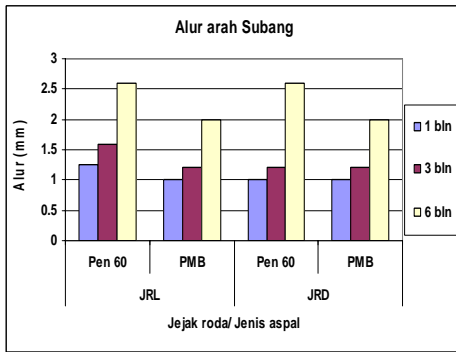
### Pelaksanaan percobaan penghamparan

Temperatur pemadatan awal dilaksanakan sesuai temperatur / kekentalan yang diperoleh dilaboratorium minus 10°C.

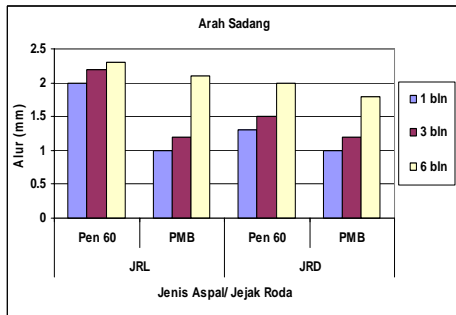
Setelah umur satu hari pelaksanaan penghamparan campuran beraspal dilakukan pengambilan contoh inti dan evaluasi penilaian kondisi perkerasan. Hasil pengujian kepadatan dan besarnya alur tertera pada Gambar 6 dan Gambar 7.



**Gambar 6.** Kepadatan Campuran beraspal pen 60 dan aspal plus limbah polipropilen (PMB-DP)



**Gambar 7.** Alur Vs umur arah Subang



JRL = Jejak roda luar  
JRD = Jejak roda dalam

**Gambar 8.** Alur Vs umur arah Sadang

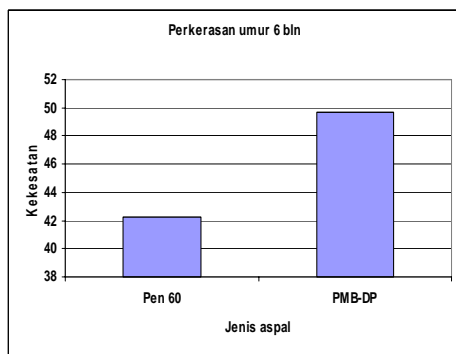
Dari hasil pengujian mutu campuran beraspal yang diambil dari Unit pencampur aspal saat penghamparan terlihat bahwa mutu campuran beraspal dengan limbah polipropilen campuran kering memberikan hasil yang lebih baik dari campuran beraspal dengan aspal pen 60 (konvensional) baik ditinjau dari derajat kepadatan (Gambar 6), Rongga terisi aspal (Gambar 2), Rongga diantara agregat (Gambar 3), rongga dalam campuran (Gambar 4), Stabiilitas Marshall (Gambar 1) campuran beraspal plus limbah polipropilen, sehingga diperkirakan umur pelayanannya lebih lama dari pada campuran beraspal pen 60

Dari hasil percobaan dilapangan sampai umur 6 bulan perkerasan belum memperlihatkan adanya kerusakan, hasil dari pengujian kepadatan campuran beraspal plus limbah polipropilen lebih baik dari aspal pen 60 (konvensional), antara lain

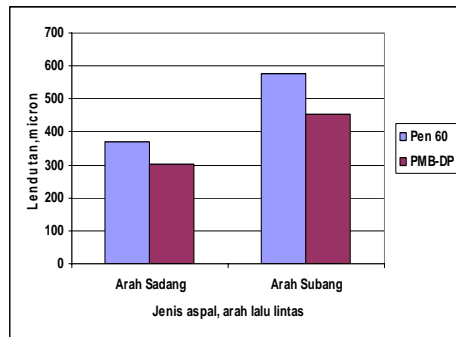
- a) Kekesatan perkerasan dengan tambahan plastik lebih baik dari perkerasan dengan aspal pen 60 (Gambar 9) dengan demikian perkerasan dengan limbah polipropilen cara kering mempunyai ketahanan terhadap kelicinan atau perkerasan lebih kesat dari

perkerasan dengan aspal pen 60.

- b) Nilai lendutan baik dari arah ke Sadang maupun dari arah ke Subang perkerasan dengan limbah polipropilen cara kering lebih kecil dari perkerasan dengan aspal pen 60 (Gambar 10) dengan demikian diperkirakan perkerasan jalan akan mempunyai umur lebih lama dari perkerasan dengan campuran beraspal pen 60.



**Gambar 9.** Kekesatan perkerasan jalan umur 6 bln Vs jenis aspal



**Gambar 10.** Lendutan perkerasan jalan Vs Jenis aspal

## KESIMPULAN

- Penambahan limbah Polipropilen Cara kering menghasilkan mutu/ kinerja campuran beraspal lebih baik dari kinerja campuran beraspal pen 60.
- Hasil percobaan aplikasi penambahan polipropilen cara kering sampai dengan umur 6 bulan dilapangan memberikan nilai kepadatan yang lebih besar dari kepadatan campuran beraspal pen 60. Dengan demikian perkerasan dengan penambahan limbah polipropilen akan lebih tahan terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas dibandingkan dengan perkerasan dengan aspal pen 60.
- Dari hasil pengamatan alur perkerasan dengan campuran beraspal plus limbah polipropilen lebih kecil dari perkerasan dengan campuran beraspal pen 60.
- Hasil pengamatan lendutan dengan alat FWD menunjukkan perkerasan dengan campuran beraspal plus limbah polipropilen lebih kecil dari campuran beraspal pen 60 walaupun perbedaan ini belum begitu signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Engineering and Specification Division AAS-200, 1998: *Polymer Modified Asphalt*, Engineering Brief No.51.
- Fouad M Bayomy, Glem D Carraux, *Modification of Hot Mix Asphalt Concrete using an Ethylen Based Copolymer*
- H.Fred Waller, 1998, *Used of Waste Materials in Hot Mix Asphalt*, ASTM Publication, STP 1193.
- IRE, 1998 "*Specification Section 6.3-Hot Asphalt Mixture*", Institut of Road Engineering, Bandung.
- Joanne Mc Entin, June 2004, *Ricycle Plastik Materials and Uses in Road Construction*.
- John Kight , Rachel Johnson, 1994, *Stabilised Bitumen – Polymer Compositions and Method for Preparation thereof*, Toronto , Ontario M6S, Canada.
- Oliver,J .W. H, 1999, *Proceeding National Workshop on Polimer Modified Binder*, ARR 183, Australian Road Research Board, Victoria, Australia
- Tjitjik WS, 2004, *Meningkatkan mutu aspal dengan daur ulang plastik mutu rendah*, Bandung.