



## PENINGKATAN KINERJA CAMPURAN BERASPAL DENGAN MIKRO KARBON.

*Tjitjik W Suroso*

### **RINGKASAN**

*Sejalan dengan perkembangan perekonomian dan kapasitas lalu lintas pun bertambah sehingga perkerasan jalan seringkali rusak sebelum umur pakai dilalui. Banyak jenis bahan untuk meningkatkan mutu aspal maupun campuran beraspal sehingga kerusakan dini pada perkerasan jalan dapat dicegah, salah satunya yaitu modifikasi dengan mikro karbon yang berfungsi sebagai penguat ( reinforcement ).*

*Pada penelitian ini penambahan mikro karbon dengan dua cara, yaitu cara kering ( mikro karbon ditambahkan kedalam agregat ) dan cara basah ( mikro karbon ditambahkan kedalam aspal ).*

*Pencampuran mikro karbon cara kering memberikan hasil pengujian mutu campuran Marshall yang lebih baik dari campuran basah. Hal ini disebabkan pada pengujian secara basah rongga terisi udara ( VIM ) dan rongga terisi aspal pada pengujian Marshall tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan.*

*Dari hasil pengujian kinerja campuran yaitu dari pengujian Wheel Tracking Machine terlihat bahwa dengan penambahan mikro karbon secara kering stabilitas dinamis campuran aspal plus 15 % mikro karbon = 4200 lintasan per menit , serta deformasi permanen = 0,01 mm/menit. Dengan demikian campuran aspal plus mikro karbon lebih tahan terhadap kerusakan, lebih awet dari pada aspal biasa, dan dengan kenaikan harga yang relatif kecil memberikan nilai tambah kekuatan yang cukup berarti.*

### **SUMMARY**

*In compliance with economic improvement and traffic capacity as well so that road pavement is often damage before reached life time. Many kind of material which is able to enhance the quality of asphalt and also pavement, so can the early damage of pavement can be prevented, one of them is modified asphalt by micro carbon which has reinforcement function.*

*In this research addition of micro carbon is carried out by two method that are dry method ( micro Carbon is pour into aggregate ) and wet method ( micro Carbon is pour into asphalt ).*

*Mixing micro Carbon by dry method result Marshall test better than wet method . In case cause by in the test by wet method has void in mixed ( VIM ) and does 't fulfill the requirements.*

*Base on the test result of pavement performance that is Wheel Tracking Machine test Shown that by adding micro Carbon up to 15 % by dry method is available to achieve the dynamic stability = 4200 line/ minute and permanent deformation = 0,01 mm/ minute. Such was the case pavement by micro Carbon is more resistant to the damage, more durable that conventional asphalt, and by increasing of price which lower gives value added to strengthening which significant.*

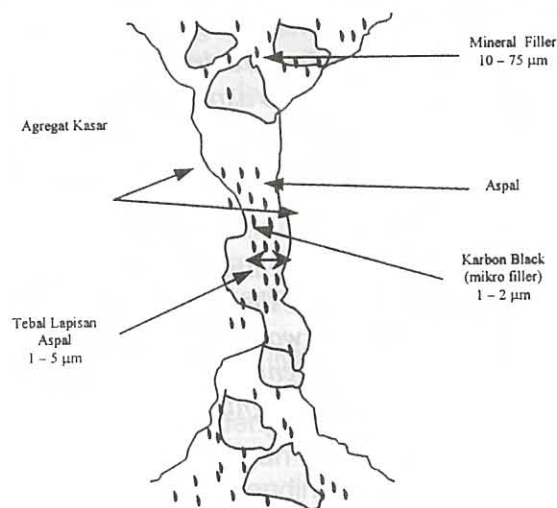
## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini banyak kerusakan perkerasan beraspal berupa deformasi permanen dan alur sebagai akibat meningkatnya beban dan jumlah lalu lintas. Selain itu Indonesia terletak di negara tropis sehingga faktor temperatur juga menunjang terjadinya kerusakan jalan .

Banyak faktor penyebab kerusakan selain faktor tersebut diatas antara lain aspal sebagai bahan pengikat atau campuran beraspalnya yang kadang kadang kurang menunjang kebutuhan tersebut. Oleh karena itu perlu ditanggulangi, salah satunya yaitu modifikasi dengan mikro karbon baik apakah terhadap aspal atau campuran beraspalnya.

Mikro karbon ( carbon black ) sudah lama dikenal di masyarakat, antara lain sebagai jelaga pada nyala lilin atau kompor minyak. Pada skala pabrik mikro karbon dibuat dari senyawa hidrokarbon yang dibakar dengan teknik tertentu. Mikro karbon berbentuk serbuk dengan butiran sangat halus, berwarna hitam, hidrofobik. Kegunaan dari mikro karbon khususnya setelah dapat dibuat skala pabrik, banyak sekali antara lain sebagai bahan pengisi atau tulangan pada industri karet.

Mikro karbon berperan sebagai penguat (reinforcement) untuk campuran beraspal memiliki ukuran butiran yang sangat kecil, yaitu tiga sampai lima mikron atau sekitar seperlima dari tebal film aspal efektif, sehingga penggunaannya tidak mengganggu gradasi campuran dan tidak diperhitungkan kedalam gradasi tersebut karena berada didalam aspal dan menjadi bagian dari aspal, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Mikro karbon dalam campuran beraspal

Pada Gambar 1 tersebut diatas, tampak mikro karbon terdistribusi dalam lapisan aspal. Dengan demikian, sesuai saran Tunnicliff yang disampaikan kembali oleh Anderson dan Goetz, mikro karbon merupakan bagian dari aspal dan tidak merubah gradasi agregat dalam campuran. Karena mikro karbon berfungsi sebagai bahan tambah aspal dan menjadi tulangan dalam aspal, maka lapisan aspal dalam campuran beraspal dapat lebih tebal sehingga aspal relatif lebih awet, persen rongga terisi aspal diharapkan dapat meningkat.

Penggunaan mikro karbon dalam aspal akan meningkatkan konsistensi aspal, titik lembek dan tebal film aspal. Perubahan karakteristik aspal tersebut pada akhirnya akan mempengaruhi karakteristik campuran seperti persen rongga dan ketahanan terhadap deformasi.

## II. HYPOTESA

Penambahan mikro karbon kedalam aspal diperkirakan dapat menaikkan titik lembek sehingga dapat menaikkan ketahanan aspal terhadap temperatur tinggi, penambahan mikro karbon terhadap campuran beraspal diharapkan Stabilitas Marshall lebih tinggi dari aspal per 60/70, Stabilitas dinamis lebih besar dari aspal.

## III. METHODOLOGI

Penelitian penggunaan mikro karbon dilakukan secara empiris dilaboratorium, dengan cara memvariasikan ketiga jenis mikro karbon kedalam aspal (cara basah), dan dalam campuran agregat (cara kering ). Dari hasil penambahan mikro karbon dicari pengaruh terbesar terhadap mutu aspal , dari pengujian Marshall dicari kadar optimum dilanjutkan dengan pengujian Wheel Tracking , UMATTA.

### 3.1. Bahan.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari ;

- Mikro karbon dari pasaran Bandung.
- Aspal per 60 Ex Pertamina Cilacap.
- Agregat kasar, sedang, halus ex Lagadar

### 3.2. Peralatan.

- Satu set alat pengujian aspal (Penetrasi, Titik lembek, daktilitas, RTFO, dan Viskositas)
- Satu set alat Marshall
- Satu set alat Wheel Tracking Machine
- Satu set alat UMATTA.



### 3.3. Methoda pengujian.

Metoda pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda pengujian yang berlaku dilingkungan Kimpraswil, baik yang telah ada SNI nya maupun mengadapsi dari luar negeri, antara lain :

- Satu set pengujian aspal yang sudah distandarkana. ( Penetrasi, Titik lembek, duktilitas, LOH, Berat jenis dll) .
- Marshall Test, SNI 06- 2480-1001
- RTFO, Pd -M-06-1999-03.
- Elastic Recovery, ARRB T - 74`
- Viscositas dengan alat Brook fill, Pd-M-01 - 2000 - 03
- Wheel Tracking Machine, JIS. Appendix 2 - 8 JRA - 1981

### 3.4. Ruang lingkup.

Pada proses pencampuran mikro karbon secara basah.

- Aspal ditambah mikro karbon pada berbagai variasi 5, 10, 15, 20 % terhadap aspal.
- Pengujian mutu aspal asli dan setelah penambahan mikro karbon.
- Pengujian mutu campuran beraspal dengan alat Marshall.

Pada proses pencampuran mikro karbon secara kering ,

- Pada gradasi agregat ditambahkan berbagai variasi mikro karbon (5, 10, 15, 20,%)
- Pengujian mutu campuran beraspal dengan alat Marshall, dari kadar optimum dilanjutkan pengujian stabilitas dinamis dan kecepatan deformasi dengan alat Wheel Tracking Machine (WTM) .

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.

### 4.1. Aspal pen 60

Hasil pengujian mutu aspal pen 60 pada tabel 1.

**Tabel 1.**  
**Mutu Aspal Pen 60/70 Ex Pertamina Cilacap**

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan*)		Satuan
				Min	Max	
1.	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik	SNI 06-2456-91	70	60	79	0,1mm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-91	48,0	48	58	°C
3.	Daktilitas	SNI 06-2432-91	>140	100	-	cm
4.	Kelarutan dlm C2HCl3	SNI 06-2438-91	99+	99	-	%
5.	Titik nyala	SNI 06-2433-91	327	200	-	°C
6.	Berat Jenis	SNI 06-2488-91	1,023	1	-	g/ml
7.	Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2441-91	0,09	-	0,8	%
8.	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-91	70	-	54	% asli
9.	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2432-91	49	-	-	°C
10.	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2434-91	>140	-	50	cm
11.	Kadar air	SNI 06-2490-91	0,0	-	-	%

\*) Persyaratan sesuai SNI 03-1737-1989

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas, tampak bahwa aspal pen 60/70 ex PT. Pertamina Cilacap yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan. Dengan demikian aspal tersebut layak digunakan sebagai bahan campuran beraspal pada penelitian ini.

### 4.2. Mikro karbon.

Mikro karbon yang digunakan adalah Pully, yang gradasinya seperti tertera pada hasil dibawah ini. Hasi analisa saringan mikro karbon.

- Karbon Pully, Lolos saringan N0 200 = 90 %

### 4.3. Agregat

#### 1. Mutu Agregat

Agregat yang digunakan untuk percobaan laboratorium, terdiri dari agregat kasar ex Banjaran, agregat halus ex Banjaran, abu batu ex Banjaran memiliki mutu sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2**  
**Mutu Agregat Kasar, Halus dan Abu Batu ex Banjaran**

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat			Persyaratan*)		Satuan
		Kasar	Halus	Abu Batu	Min	Max	
1.	Abrasi	17,96	-	-	-	40	%
2.	Impact	10,3	-	-	-	30	%
3.	Crushing	11,4	-	-	-	30	%
4.	Berat isi padat	1,462	1,604	1,719	-	-	ton/m <sup>3</sup>
5.	Berat Jenis: - Bulk - SSD - Apparent	2,707	2,640	2,676	2,5	-	-
		2,746	2,685	2,724	2,5	-	-
		2,817	2,763	2,808	2,5	-	-
6.	Sand Eivalent	-	-	64,8	50	-	%
8.	Kelekatan thp aspal	-	95 +	-	95	-	%
9.	Kepipihan	19,90	-	-	-	25	%
10.	Soundness Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,09	0,24	0,15	-	12	%
11.	Atterberg Limit	-	-	Non-P	Non-plastis		%
12.	Gumpalan Lempung	0,17	0,11	0,042	-	0,25	%
13.	Penyerapan	1,45	1,68	1,75	-	3	%

\*) Persyaratan sesuai SNI 1737-1989-F

Berdasarkan data pada Tabel 2. di atas, tampak bahwa agregat kasar, agregat halus dan abu batu ex Banjaran yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan. Dengan demikian agregat tersebut layak digunakan sebagai bahan campuran beraspal pada penelitian ini.

#### 2). Gradasi agregat

Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi super pave seperti tertera pada tabel 3.

**Tabel 3.**  
**Gradasi Agregat yang digunakan**

Jenis contoh	Inc	No saringan							
		3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 30	# 50	# 200
Mm		19	12,7	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,075
Abu batu		100	99,4	97,1	91,1	67,5	34,5	29,6	16,2
Screen		100	100	99,5	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Split		97,4	65,9	47,8	17,2	6,9	4,1	3,9	3,1
Komb. Agg:									
- Abu batu	50%	50,0	49,7	48,6	45,6	33,8	17,3	14,8	8,1
- Screen	20%	20,0	20,0	19,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
- Split	30%	29,2	19,8	14,3	5,2	2,1	1,2	1,2	0,9
Total camp	100%	99,2	89,5	82,8	51,3	35,8	18,5	16,0	9,0
Spek									
Maksimum	-	100	100	90	-	58	-	-	10
Minimum	-	100	90	-	-	28	-	-	4
Fuller		100	82,2	73,2	53,6	39,1	21,1	15,5	8,3
Daerah dihindari :									
Maksimum			-	-	-	39,1	23,1	15,5	-
Minimum			-	-	-	39,1	19,1	15,5	-

Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap mutu aspal pada tabel 4

**Tabel 4.**  
**Hasil pengujian pengaruh penambahan berbagai variasi mikro karbon kedalam aspal pen 60.**

No	Jenis pengujian	Kadar mikro karbon terhadap aspal (%)			
		6 %	10 %	15 %	20 %
1	Penetrasi, 25 ° C, 100g, 5 detik	59	58	56	55
2	Titik lembek, ° C	52	52	52	54
3	Daktilitas, 5 cm / menit, 25 ° C	70	68	38	35
4	Titik Nyala, ° C	333	336	340	334
5	Berat jenis, g / ml	1,022	1,021	1,022	1,024
6	Viscositas asli, 60 ° C, Pa	645	717	807	866
7	Viscositas RTFO, 60 ° C, Pa	823	772	976	1231
8	TFOT	0,065	0,060	0,075	0,079
	- Penetrasi, 25 ° C, 100g, 5 detik	56	57	58	43
	- Titik Lembek, ° C	52	53	54	55
	- Daktilitas, 5 cm / menit, 25 ° C	61	60	34	22
9	RTFOT	0,079	0,080	0,099	0,090
	- Penetrasi, 25 ° C, 100g, 5 detik	56	56	57	37
	- Titik Lembek, ° C	53	55	55	62
	- Daktilitas, 5 cm / menit, 25 ° C	65	55	30	18
10	Penetrasi PAV, 25 ° C, 100g, 5 detik	41	40	44	27
11	T. Lembek PAV, ° C	57	59	61	62
12	Daktilitas PAV, 5 cm / menit, 25 ° C	32	28	24	18
13	A. I	1,27	1,08	1,21	1,40
14	P. I	-0,31	-0,35	-0,44	-0,02

#### 4.4. Hasil pengujian Marshall.

##### 1). Aspal pen 60

Hasil pengujian Marshall aspal pen 60 pada tabel 5.

**Tabel 5.**  
**Hasil pengujian Marshall aspal pen 60 pada kadar aspal optimum**

No.	Jenis pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
				Min - Maks
1	Kadar aspal	%	6,1	-
2	Berat isi	Ton / m <sup>3</sup>	2,22	
3	Stabilitas	kg	1180	Min 800
4	Kelelahan	mm	3,2	Min 2
5	Rongga antara agregat (VMA)	%	18,4	Min 15
6	Rongga dalam campuran ( VIM)	%	3,9	3 - 6
7	Rongga terisi aspal ( VFB )	%	68	Min 65
8	Hasil bagi Marshall	Kg / mm	350	Min.200

##### 2). Mikro Karbon.

Hasil pengujian Marsahll pengaruh aplikasi mikro karbon terhadap karakteristik Marshall cara basah pada kadar aspal optimum dengan variasi kadar mikro karbon, yang ditambahkan kedalam aspal pen 60 seperti tertera pada tabel 6.



**Tabel 6.**  
**Hasil pengujian Marshall dengan bahan tambah Karbon Pully, cara basah**

Pengujian	Satuan	Kadar Karbon (%)				
		5	10	15	20	25
Stabilitas	Kg	894,6	892,0	978,7	1023,8	1236,5
Kelelahan	mm	3,0	3,7	3,9	3,2	3,3
M. Quotient	kg/mm	298,2	238,9	253,1	319,9	378,5
Density	ton/m <sup>3</sup>	2,247	2,207	2,217	2,193	2,225
VMA	%	19,22	19,34	19,76	20,65	19,40
VIM	%	7,45	7,59	8,07	9,10	7,66
VFB	%	61,35	61,11	59,21	55,96	60,53

**Pembahasan**

Berdasarkan data pada tabel 6 di atas, campuran beraspal panas yang mengandung bahan tambah karbon dengan ukuran <5 µm (Pully) memiliki karakteristik Marshall sebagai berikut :

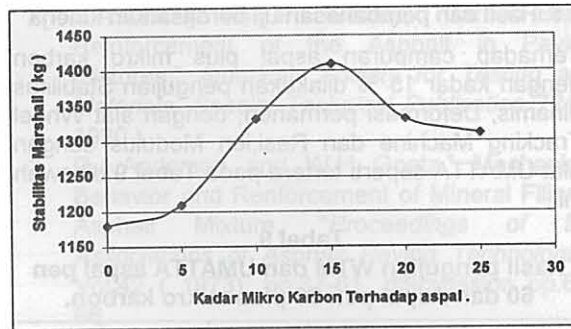
- Campuran mencapai optimum pada kadar karbon 15%, pada kadar tersebut campuran memiliki Berat Isi maksimum (2,311 kg/1), rongga di antara agregat minimum (16,99%), rongga dalam campuran 4,90%, rongga terisi bitumen 71,15%, stabilitas maksimum (1410 kg), flow 3,77 mm dan hasil bagi Marshall 376 kg/mm.
- Dengan bertambahnya kadar karbon, maka rongga dalam campuran relatif sedikit menurun dan rongga terisi bitumen relatif sedikit meningkat. Hal ini menunjukkan penambahan karbon relatif dapat meningkatkan tebal film aspal.
- Campuran yang memiliki kadar karbon 20% dan 25% ternyata memiliki flow yang melebihi persyaratan maksimum.
- Stabilitas Marshall campuran yang mengandung karbon umumnya memenuhi persyaratan dan relatif lebih besar dari campuran yang tanpa karbon.

**Penambahan mikro karbon Cara kering.**

Hasil pengujian campuran beraspal dengan cara Marshall secara kering pada kadar aspal optimum.

**Tabel 7.**  
**Karakteristik Marshall dengan Bahan Tambah Karbon 3-5 µm (Pully)**

Jenis Pengujian	Jenis Karbon					Spek
	5	10	15	20	25	
Persen Karbon thd aspal, %	5	10	15	20	25	-
Kadar aspal thd campuran, %	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	-
Berat isi, ton/m <sup>3</sup>	2,289	2,300	2,311	2,311	2,307	-
Rongga di antara agregat (VMA),%	17,76	17,37	16,99	17,00	17,14	Min 15
Rongga dalam campuran (VIM),%	4,69	4,59	4,90	4,40	4,25	3 – 6
Rongga terisi bitumen (VFB), %	73,60	73,58	71,15	74,11	75,20	Min 65
Stabilitas Marshall suhu 60 °C, kg	1209	1331	1410	1332	1311	Min 800
Pelelehan Marshall, mm	3,73	3,73	3,77	4,20	4,22	Min 2
Hasil bagi Marshall, kg/mm	325	358	376	317	315	Min200



**Gambar 2.** Stabilitas campuran (Marshall) dengan berbagai kadar mikro karbon cara kering

Berdasarkan Tabel 6. dan gb.2 perbandingan karakteristik Marshall pada kadar optimum , dicapai pada penambahan 15 % mikro karbon

Stabilitas tertinggi dicapai mikro karbon aktif (1476 kg) namun kadar mikro karbon paling besar, untuk itu dicoba pada kadar mikro karbon sama 15 % thdp campuran. Hasil pengujian Marshall pada tabel 8.

**Tabel 8.**  
**Karakteristik Marshall dengan Bahan Tambah Mikro karbon Pully**

Jenis Pengujian	Hasil		Spek.
	0	15	
Persen Karbon thd aspal, %	0	15	-
Kadar aspal thd campuran, %	6,1	6,1	-
Berat isi, ton/m <sup>3</sup>	2,22	2,311	-
Rongga dalam campuran (VIM),%	3,2	4,90	3 – 6
Rongga terisi bitumen (VFB), %	68	71,15	Min 65
Stabilitas Marshall suhu 60 °C , kg	1180	1410	min 800
Pelelehan Marshall, mm	3,9	3,77	Min 2
Hasil bagi Marshall, kg/mm	350	376	Min 200
Rongga di antara agregat (VMA), %	18,4	16,99	Min 15

**Pembahasan**

- Tingkat kepadatan, rongga di antara agregat, rongga terisi bitumen dan rongga dalam campuran, campuran dengan bahan tambah karbon Pully memiliki tingkat kepadatan lebih besar dari aspal asli hal ini disebabkan mikro karbon bahan padat dan halus , sehingga stabilitas Marshall campuran karbon pully (1410 kg) lebih besar dari stabilitas Marshall campuran dengan aspal tanpa mikro karbon dan rongga terisi aspal lebih besar dari aspal tanpa mikro karbon . Hal ini akan menghasilkan campuran yang lebih tahan terhadap kerusakan ( deformasi ) dibandingkan dengan campuran beraspal tanpa bahan tambah mikro karbon.



#### 4.5. Hasil dan pembahasan uji berdasarkan kinerja

Terhadap campuran aspal plus mikro karbon dengan kadar 15 % dilakukan pengujian Stabilitas dinamis, Deformasi permanen, dengan alat Wheel Tracking Machine dan Resilien Modulus dengan alat UMATTA seperti tertera pada Tabel 9 dibawah ini .

**Tabel 9.**

**Hasil pengujian WTM dan UMATTA aspal pen 60 dan Aspal pen 60 plus mikro karbon.**

No	Pengujian	Satuan	Aspal 60	Mikro Karbon
1	W.T.M			
	- DO	mm	1,07	1,69
	- DS	lts/mm	1142,7	4200
	- RD	mm / m	0,037	0,010
2	UMATTA, Suhu 25 °C			
	-Resilient modulus	MPa	3595	3688
	-Tot Rec Strain	µε	94,2	88,7
	Suhu 60 °C			
	- Resilient Modulus	MPa	217,4	225,8
	- Total Recover strain	µε	200,1	189,9

Dari hasil pengujian kinerja campuran yaitu dari pengujian Wheel Tracking Machine terlihat bahwa stabilitas dinamis campuran aspal plus 15 % mikro karbon pully = 4200 lintasan per menit , serta deformasi permanen = 0,01 mm/menit. Dengan demikian campuran aspal plus karbon Pully lebih tahan terhadap kerusakan,atau lebih awet dari pada aspal biasa.

Perbandingan hasil pengujian campuran beraspal secara basah dan secara kering dengan alat Marshall.

Rangkuman hasil pengujian Marshall pencampuran mikro karbon Pully cara basah dan cara kering pada tabel 6.

**Tabel 10.**

**Hasil pengujian Marshall penambahan mikro karbon Pully secara basah dan cara kering.**

No	Jenis uji	Persyaratan			
		AC. 60	MKP*	MKP**	Min - Max
1.	K aspal opt. %	6,1	6,1	6,1	-
2.	Berat isi, g / cc	2,35	2,311	2,217	-
3.	V.M.A. %	15,2	16,99	19,76	Min 14
4.	VIM, %	3,5	4,9	8,07	3 - 6
5.	V.B.F, %	78	71,15	59,21	Min 65
6.	Stabilitas, kg	1320	1410	978,7	Min 800
7.	Kelelahan, mm	3,9	3,77	3,9	2 - 5
8.	M.Q, kg / mm	310	376	253,1	Min 200

**Keterangan :**

AC.60 = Aspal pen 60

MKP\* = Penambahan Mikro Karbon Pully dengan proses pencampuran secara Kering (kedalam gradasi agregat).

MKP\*\* = Aspal pen 60 plus Mikro Karbon Pully proses pencampuran secara Basah.

#### 4.6. Analisa harga perton campuran beraspal

Untuk menentukan ekonomis tidaknya penggunaan mikro karbon untuk modifikasi aspal digunakan perbandingan mutu atau kinerja dengan perbandingan harga perton campuran beraspal dengan menggunakan aspal pen 60 dan campuran beraspal aspal dengan mikro karbon seperti tertera pada tabel 11

**Tabel 11.**

**Perbandingan harga, stabilitas dinamis, deformasi permanen terhadap aspal Pen 60. Ex Pertamina**

No.	Parameter	AC. 60/70	AC 60 + 15% Pully
1	Perb. Stabilitas Marshall	1	1,07 x
2	Perb. Stabilitas Dinamis	1	3,01 x
3	Perb. Deformasi permanen	1	0,27 x
4	Perb. Resilient Modulus	1	1,026 x
5	Perb. Daya Kerut	1	0,25 x
6	Perb. Indek Pelapukan	1	1,01 x
	Harga per ton	152.000	164.475
	Perbandingan harga	1	1,08 x

Dari tabel 11 tersebut diatas terlihat bahwa dengan kenaikan harga sebesar 8% menghasilkan kenaikan mutu campuran beraspal yang cukup baik diantaranya kenaikan stabilitas dinamis sebesar 3,01 kali dibandingkan dengan stabilitas dinamis aspal pen 60, demikian juga penurunan deformasi sebesar 63 % . Namun perlu diingat bahwa penambahan mikro karbon disarankan hanya untuk perkerasan yang tidak terjadi masalah dengan keretakan, hal ini disebabkan pengujian elastic recovery menunjukkan hasil yang lebih kecil dari aspal pen 60.

## V. KESIMPULAN

1. Pencampuran mikro karbon pully secara kering (mikro karbon kedalam agregat) memberikan hasil lebih baik dari pada cara basah ( mikro karbon kedalam aspal ) baik dilihat dari kemudahan pencampuran maupun mutu aspal, cara basah menurunkan nilai duktilitas aspal dan menurunkan nilai penetrasi setelah pemanasan lebih kecil dari aspal asli ( 70 % ).
2. Mikro karbon Pully sebanyak 15 % berat agregat menghasilkan mutu lebih baik dari aspal tanpa tambahan mikro karbon, pada pengujian campuran beraspal dengan alat Marshall secara kering, maupun dengan alat Wheel tracking Machine , seperti tertera pada table 9. Hal ini disebabkan pengujian Marshall secara basah , rongga terisi udara (VIM) dan rongga terisi aspal (VFB) tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan.

3. Penambahan mikro karbon jenis Pully memberikan kenaikan kinerja yang cukup baik dibandingkan dengan aspal pen 60, terlihat dengan kenaikan harga sebesar 8 % menghasilkan kenaikan mutu campuran beraspal yang cukup baik diantaranya kenaikan stabilitas dinamis sebesar 3,01 kali dibandingkan dengan stabilitas dinamis aspal pen 60, demikian juga penurunan deformasi sebesar 63 % .

Dari hasil pengujian kinerja campuran yaitu dari pengujian Wheel Tracking Machine terlihat bahwa dengan penambahan mikro karbon secara kering stabilitas dinamis campuran aspal plus 15 % mikro karbon pully = 4200 lintasan per menit , serta deformasi permanen = 0,01 mm/menit, serta dari pengujian U MATTA menghasilkan Resilien Modulus = 3688 M Pa lebih besar dari resiliemn modulus campuran dengan aspal tanpa mikro karbon = 3598 M Pa. Dengan demikian campuran aspal plus karbon Pully lebih tahan terhadap kerusakan, atau lebih awet dari pada aspal biasa . Namun perlu diingat bahwa penambahan mikro karbon disarankan hanya untuk perkerasan yang tidak terjadi masalah dengan keretakan, hal ini disebabkan pengujian elastic recovery menunjukkan hasil yang lebih kecil dari aspal pen 60 dan dari hasil UMATTA dimana total recovery campuran beraspal dengan mikro karbon baik pada temperature 25 C ( = 88,7 < 94,2  $\mu\epsilon$ ) maupun pada temperature 60 C ( = 189,9 < 200,1  $\mu\epsilon$ ) lebih kecil dari total recovery aspal .

#### DAFTAR PUSTAKA

1. A.G.Alliotti," Carbon Black- It's Nature and Possible Effects on the Characteristics of Bituminous Road Binder," *Proceeding Australian Road Reseach Board*, Vol.1 Part 1 (1962).

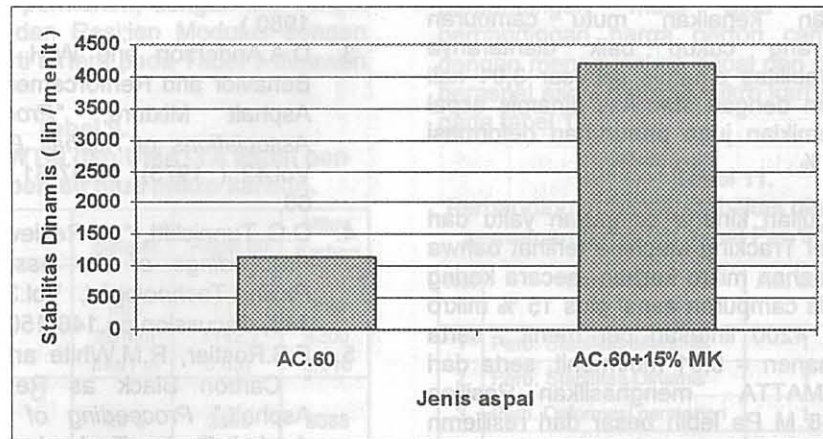
2. B.A.Vallerga and P.F.Gridley, " Carbon Black Reinforcement of the Asphalt in Paving Mixtures," *American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication 724* ( 1980 ).
3. D.A.Anderson and W.H Goetz." Mechanical Behavior and Reinforcement of Mineral Filler – Asphalt Mixture, " *Proceedings of the Associations of Asphalt Paving Technologist*, Vol.42 ( 1973), pp.37-61, discussion pp.61-66.
4. D.G Tunnickliff, " A Review of Mineral Filler, " *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist*, Vol.31 ( 1962 ) , pp.118-146, discussion pp.146-150.
5. F.S.Rostler, R.M.White and E.M.Dannenberg, " Carbon Black as Reinforcing agent for Asphalt," *Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologist*, vol 46 ( 1977 ), p. 376-401.
6. F.S.Rostler,R.M White and P.J.Cass," Modification of Asphalt Cement for Improvement of Wear Resistance of Pavement Surface . " Report No.FHWA – RD.72-24, Federal Highway Administration, Office of Reseach, Washington, 1972.
7. Zukang Yao, " Behavior of asphalt mixture with Carbon Black Reinforcement," *Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologist*, 1977 vol 48 p.376 410 .

#### Penulis :

*Ir. Tjitjik W. Suroso, Ahli Peneliti Muda, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang, Departemen Kimpraswil.*

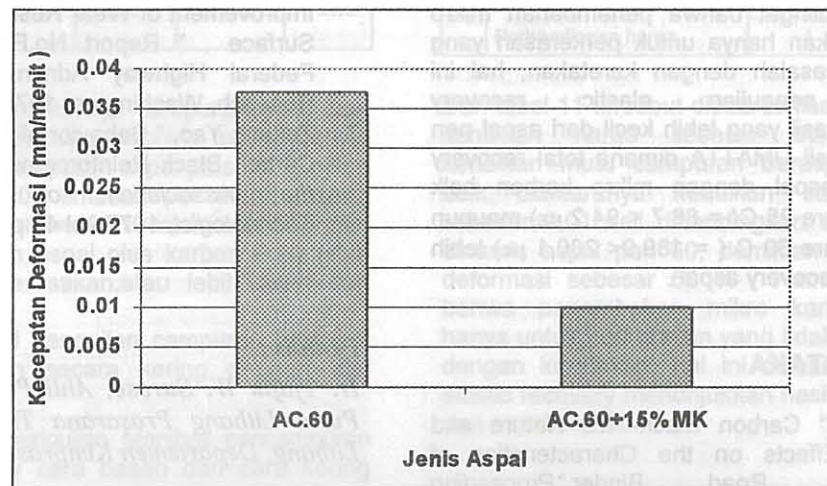


1. Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap stabilitas dinamis



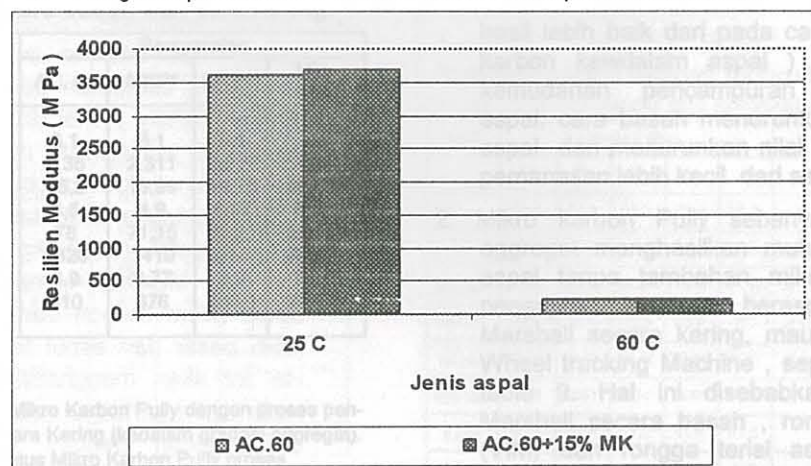
Gambar. 3 Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap stabilitas dinamis

2. Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap kecepatan depormasi



Gambar 4. Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap kecepatan depormasi

3. Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap Resilien Modulus



Gambar 5. Pengaruh penambahan mikro karbon terhadap Resilien