

# PENGARUH LIMBAH SERBUK BESI SEBAGAI PENGGANTI SEJUMLAH AGREGAT HALUS TERHADAP CAMPURAN ASPAL

SAMSUL BAHRI\*

DWI AGUST SUSILO IRAWAN\*\*

\*Staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu

Jl. Raya Kandang limun, Bengkulu, Telp (0736)344087

e-mail:[sbahri1972@yahoo.co.id](mailto:sbahri1972@yahoo.co.id)

\*\*alumni prodi teknik sipil Unib

## ABSTRACT

*The objective of this research examining stability and flow value was to investigate the impact of the utility of iron filings waste as a substitute material for the number of surprisingly small aggregates in the mixture of asphalt. In this research, the portion of iron filings waste which given were 5 %, 10 % and 15 % of the heavy mixture smooth aggregates. The stability quantitative value was 2093 kg in 15 % iron filings contents. The highest flow quantitative value was 3,5 mm in 5 % iron filings contents. The result of characteristic validation Marshall on the number of substituted smooth aggregates which used iron filings gave a standard coefficient specification BM.2005. So based on that, the iron filings waste technically could be received as a substitute material for the mixture of surprisingly small aggregates.*

*Keywords : aggregates, Iron filings waste, Asphalt concrete.*

## I. PENDAHULUAN

Konstruksi perkerasan lentur atau sering disebut juga campuran aspal didapatkan dari pencampuran agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal sebagai pengikatnya dengan perbandingan tertentu pada keadaan panas. Agregat kasar maupun halus memberikan kontribusi yang sangat penting pada konstruksi perkerasan lentur. Sifat bahannya yang keras dan tahan lama menjadi kekuatan utama dalam memikul beban yang terjadi.

Pada umumnya agregat kasar dan halus diperoleh dari batu pecah dengan gradasi dan persyaratan tertentu. Namun sejalan dengan kemajuan teknologi bahan, telah banyak dikembangkan penelitian tentang pemanfaatan limbah sebagai bahan perkerasan jalan. Sebagai alternatif agregat kasar telah dilakukan penelitian limbah pengujian sampel beton. Sedangkan untuk agregat halus telah dilakukan penelitian limbah slag timah, penambangan timah dan bahan limbah lainnya.

Di Kota Bengkulu terdapat sekitar 6 tempat bengkel bubut. Rata-rata sebuah bengkel bubut menghasilkan limbah serbuk besi  $\pm 10$  kg/hari. Semua limbah tersebut dibuang begitu saja,

tanpa ada upaya untuk memanfaatkan atau memproteksi dari kemungkinan dampak negatif dari limbah serbuk besi tersebut.

Untuk itu pada penelitian ini dicoba untuk memanfaatkan limbah serbuk besi tersebut pada campuran aspal beton dengan cara mengganti sejumlah agregat halus.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah serbuk besi sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus pada campuran aspal beton. Kinerja campuran aspal diukur dari nilai karakteristik *marshall* dengan tinjauan utama nilai stabilitas dan *flow*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Aspal

Sebagai salah satu bahan konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan komponen kecil yang umumnya hanya terdiri dari 4 % - 10 % berdasarkan berat atau 10 % - 15 % dari volume, namun merupakan komponen yang relatif mahal (Sukirman, 2003).

Aspal keras dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercurah panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal penetrasi tinggi digunakan untuk daerah yang bercurah

dingin atau lalu lintas dengan volume sedang atau rendah. Di negara Indonesia umumnya digunakan aspal beton penetrasi 60/70 ( AC 60/70) atau penetrasi 80/100.

### **Karakteristik Aspal**

Karakteristik aspal menurut Sukirman (2003), adalah sebagai berikut :

#### 1. Daya Tahan (*Durability*)

Daya tahan aspal adalah sifat yang menunjukkan kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat asalnya yang diakibatkan pengaruh cuaca atau iklim selama pelayanan jalan. Sifat ini juga dipengaruhi oleh sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain-lain.

#### 2. Kekerasan Aspal

Sifat ini menunjukkan tingkat kekerasan aspal. Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampurkan dengan agregat, sehingga agregat dilapisi aspal. Pada proses pelaksanaan selanjutnya, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan ini terus terjadi sampai masa pelayanan selesai. Jadi selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat.

#### 3. Kepekaan Terhadap Temperatur

Aspal merupakan material yang bersifat *thermoplastis*, artinya aspal akan menjadi keras atau kental pada suhu rendah dan akan menjadi lunak atau cair pada suhu tinggi. Kepekaan terhadap temperatur dari masing-masing aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut dari jenis yang sama.

#### 4. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah sifat yang menunjukkan kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga menghasilkan ikatan yang baik antara aspal dengan agregat. Kohesi adalah sifat yang menunjukkan kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan

agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan. Karakteristik-karakteristik tersebut perlu diuji dan diperhatikan sehingga dapat digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan yang baik.

### **Klasifikasi Campuran Aspal**

Secara umum menurut spesifikasi BM.2005, campuran aspal panas dapat diklasifikasikan dalam :

#### 1. Latasir (*sand sheet*) kelas A dan B

Campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu-lintas rencana kurang dari 0,5 juta ESA dan khususnya pada daerah dimana agregat kasar sulit diperoleh. Pemilihan kelas A atau B terutama tergantung pada gradasi pasir yang digunakan.

#### 2. Lataston (HRS)

Lataston terdiri dari dua macam campuran, yaitu lataston lapis pondasi (*HRS-Base*) dan lataston lapis permukaan (*HRS-Wearing Course*). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. Lataston lapis pondasi (*HRS-Base*) mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada lataston lapis permukaan (*HRS-Wearing Course*). Campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu-lintas rencana kurang dari 1 juta ESA.

#### 3. Laston (AC)

Laston (AC) terdiri dari tiga macam campuran, yaitu laston lapis aus (*AC-WC*), laston lapis antara (*AC-BC*), dan laston lapis pondasi (*AC-Base*). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan asbuton atau aspal *multigrade* disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*. Laston ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rencana berkisar antara 1 - 10 juta ESA, sedangkan laston dimodifikasi (*AC modified*) ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rencana lebih besar dari 10 juta ESA (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

## Agregat

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Pada campuran beraspal agregat memberikan kontribusi sampai 90 %- 95 % terhadap campuran, sehingga sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dari kinerja campuran tersebut (Sukirman, 2003).

Sebagai bahan penyusun campuran menurut spesifikasi BM.2005, berdasarkan ukuran partikel agregat dapat dibedakan atas:

### 1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang tertahan ayakan No. 8 (2,36 mm). Agregat ini harus dipastikan bersih, keras, awet dan bebas dari lempung ataupun bahan organik lain yang tidak dikehendaki. Agregat kasar berupa batu pecah atau kerikil pecah sebaiknya dipersiapkan dalam ukuran nominal tunggal. Agregat kasar haruslah mempunyai angularitas yaitu persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 2,36 mm permukaan bidang pecah satu atau lebih.

### 2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan pasir atau pengayakan batu pecah (abu batu) yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm). Dalam pencampuran aspal persentase maksimum agregat halus yang disarankan untuk Laston (AC) adalah 15 %. Sama halnya dengan agregat kasar, agregat halus yang digunakan merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung ataupun bahan lainnya yang tidak dikehendaki.

## Serbuk Besi

Menurut Daryus (2008), serbuk besi adalah bagian dari hasil sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang yang merupakan hasil pemakaian di industri. Ada tiga jenis besi tuang yang banyak digunakan, yaitu besi tuang kelabu (*grey cast iron*), besi tuang ulet atau besi tuang nodular (*nodular cast*

*iron*) dan besi tuang putih (*white cast iron*). Ketiga jenis besi tuang ini mempunyai komposisi kimia yang hampir sama. Pemakaian besi pada industri menghasilkan limbah buangan berupa serbuk besi yang merupakan hasil langsung dari sisa pembubutan dan pemotongan besi. Secara umum kandungan kimia serbuk besi terdapat seperti tertera dalam tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Kimia Serbuk Besi

Kandungan Kimia	Persentase ( % )
Silikon (Si)	1-3
Carbon (C)	2-4
Mangan (Mn)	0,8
Fospor (P)	0,1
Sulfur (S)	0,05
Besi (Fe)	Sisa

Sumber : Besi Tuang, 2000

## Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut spesifikasi BM.2005, bahan pengisi (*filler*) adalah bahan pengisi yang lolos saringan No. 200 tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya dan mempunyai sifat *non plastis*. *Filler* biasanya dipakai bahan-bahan seperti abu batu, kapur padaman, semen (*PC*), dan bahan *non plastis* lainnya.

## Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* merupakan pengujian laboratorium untuk perkerasan yang meliputi pengujian karakteristik campuran dan perencanaan kadar aspal optimum (KAO).

Adapun ketentuan sifat-sifat campuran aspal beton (laston) menurut spesifikasi BM.2005 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Bas e
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah Tumbukan Per Bidang		75		112
VIM (%)	Min	3,5		
	Max	5,5		
VMA (%)	Min	15	14	13
VFA (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall	Min	800		1500
	Max	-		-
Kelelahan (mm)	Min	3		5
MQ (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60 <sup>0</sup> C	Min	75		
Refusal	Min	2,5		

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2005

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di laboratorium bahan bangunan (*workshop*) Teknik Sipil Universitas Bengkulu. metode uji sampel campuran aspal menggunakan *Marshall test* berupa stabilitas dan kelelahan (*flow*) serta sifat-sifat volumetrik yang terdapat dalam pengujian *Marshall* dengan serbuk besi sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi : (1) agregat kasar (*split*) yang digunakan adalah agregat alami yang dipecahkan dengan menggunakan mesin pemecah batu, *split* yang berasal dari daerah Kabupaten Seluma. (2) agregat halus yang digunakan adalah abu batu yang diambil dari daerah Kabupaten Seluma. (3) *filler*

yang digunakan adalah semen *portland* tipe I dengan merk Semen Padang. (4) aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 merk *Shell*. (5) serbuk besi yang digunakan adalah serbuk besi yang berasal dari limbah besi pada bengkel bubut 2001 di jalan Kalimantan dan bengkel bubut Sinar Harapan Teknik di jalan Kebun Tebeng di Kota Bengkulu.

### Rancangan Campuran Metode Marshall

Langkah-langkah perancangan campuran aspal beton berdasarkan spesifikasi BM.2005 adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran yang diinginkan dari spesifikasi campuran pekerjaan.
2. Merancang proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi sesuai butir 1. Perhitungan rancangan campuran dilakukan dengan mengadopsi cara grafis (Metode *Rothulus* Tipe A) yang kemudian mengacu pada spesifikasi BM.2005 untuk memperoleh persentase masing-masing agregat dalam campuran aspal beton.
3. Menentukan kadar aspal total dalam campuran. Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat.

$$P = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% filler) + K \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

P= kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran.

CA= persen agregat tertahan saringan No. 8

FA= persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

Filler= persen agregat minimal 75 % lolos saringan No. 200

K= 0,5 - 1,0 untuk Laston

Pada penelitian ini nilai stabilitas dan *flow* serta nilai parameter *Marshall* lainnya yang diharapkan disesuaikan dengan spesifikasi BM.2005. Apabila hasil rancangan tersebut tidak terpenuhi, maka dilakukan rancangan ulang terhadap campuran aspal beton.

#### Pembuatan Benda Uji

Penggantian serbuk besi dihitung sebesar 0%, 5%, 10 % dan 15% dari berat agregat halus, sehingga benda uji keseluruhan sebanyak 60 buah.

Tabel 3. Jumlah Pembuatan Benda Uji

No	Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji Pada Persentase Serbuk Besi Pengganti Agregat Halus (buah)			
		0 (%)	5 (%)	10 (%)	15 (%)
1	(p + 1)	3	3	3	3
2	(p - 0,5)	3	3	3	3
3	P	3	3	3	3
4	(p + 0,5)	3	3	3	3
5	(p + 1)	3	3	3	3
Jumlah Benda Uji		60 Buah Benda Uji			

Setelah didapat kadar aspal optimum (KAO) untuk masing masing perlakuan, maka dilanjutkan pembuatan benda uji dengan kondisi KAO sejumlah 3 buah untuk masing-masing KAO berdasarkan persen penggantian agregat halus.

#### Prosedur Pengujian *Marshall* Untuk Campuran

Prosedur pengujian marshall berdasarkan *British Standard Institution* (1985), stabilitas dari campuran ditentukan sebagai suatu beban maksimum yang diperoleh melalui pembebanan benda uji pada temperatur standar yaitu 60 °C. Kelelehan *plastis* (*flow*) diukur sebagai suatu perubahan bentuk dalam satuan 0,1 mm. Dalam percobaan ini usaha yang dilakukan adalah untuk mendapatkan kadar aspal optimum pada tipe campuran agregat dan intensitas lalu lintas.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Sebelum KAO

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum terhadap campuran, maka dilakukan analisis terhadap hasil pengujian nilai-nilai karakteristik *Marshall* meliputi volumetrik (VMA, VFA, VIM), stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Nilai karakteristik *Marshall* dari hasil pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rata-rata Nilai Karakteristik *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Par. <i>Marshall</i>	Nilai Rata-rata Karakteristik <i>Marshall</i> Pada Kadar Penggantian Serbuk Besi			
		0 %	5 %	10 %	15 %
4	VMA (%)	15,4	16,4	15,8	15,2
4,5		15,2	15,2	15,5	15,2
5		15,3	15,5	15,5	15,1
5,5		15,9	16,2	15,8	15,3
6		16,6	16,9	16,1	16,1
4		VFA (%)	52,2	48,6	50,7
4,5	59,7		59,9	58,4	59,9
5	65,6		65,0	64,9	66,6
5,5	69,2		67,8	69,6	72,1
6	71,8		70,1	74,5	74,7
4	VIM (%)		7,1	8,2	7,5
4,5		6,0	5,9	6,3	5,9
5		5,2	5,4	5,4	5,1
5,5		4,8	5,2	4,8	4,2
6		4,7	5,0	4,1	4,1
4		Stabilitas (kg)	1430	1639	1829
4,5	1479		1791	1780	2153
5	1607		1584	1931	2102
5,5	1357		1644	1764	1839
6	1132		1082	1169	1105
4	<i>Flow</i> (mm)		3,39	3,0	3,0
4,5		3,41	3,1	3,1	3,20
5		3,83	3,1	3,4	3,67
5,5		3,51	3,0	3,3	3,67
6		4,80	4,4	5,1	4,60
4		MQ (kg/mm)	428	554	61
4,5	436		570	572	696
5	424		502	561	577
5,5	390		544	538	505
6	236		247	232	241

### Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi

Hal ini dibutuhkan untuk mengakomodir fluktuasi yang mungkin terjadi dalam produksi campuran.

Untuk mendapatkan KAO, nilai dari parameter *marshall* digambarkan dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan nilai untuk masing-masing parameter *marshall*. Selanjutnya nilai KAO akan didapatkan dari rentang yang memenuhi semua nilai karakteristik *Marshall* dan diambil nilai tengahnya. Untuk semua persen penggantian didapatkan nilai KAO sebesar 5,25 %.

### Pembahasan Pengujian Marshall Kondisi KAO

Hasil pengujian karakteristik *Marshall* dengan penggantian serbuk besi 0 %, 5 %, 10 % dan 15 % secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Kondisi KAO

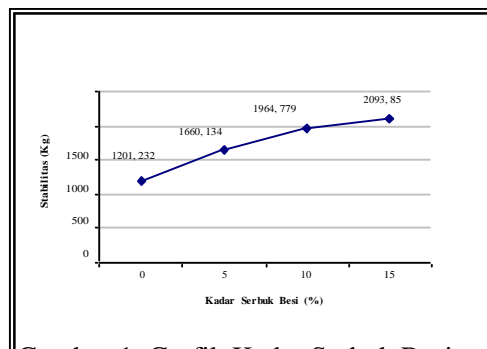
KAO (%)	Parameter <i>Marshall</i>	Kadar Serbuk Besi Pengganti Agregat Halus			
		0 %	5 %	10 %	15 %
5,25	VMA (%)	15,4	15,7	15,6	16,3
	VFA (%)	68,6	67,3	67,6	64,3
	VIM (%)	3,4	3,7	3,7	4,4
	Stabilitas (kg)	1201	1660	1964	2093
	Flow (mm)	3,2	3,5	2,9	3,2
	MQ (kg/mm)	407	471	726	737

Dari Tabel 5. memperlihatkan bahwa pada persen penggantian sejumlah agregat halus dengan menggunakan serbuk besi secara umum memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam spesifikasi BM.2005.

### Stabilitas

Pengujian stabilitas terhadap benda uji dilakukan pada persen penggantian fraksi halus dengan serbuk besi pada kadar 0%, 5%, 10% dan 15%. Hasil pengujian dengan menggunakan

kombinasi persen serbuk besi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Kadar Serbuk Besi Terhadap Stabilitas

Dari Gambar 1. terlihat nilai stabilitas naik. Pada penggantian persen fraksi halus 0 %, stabilitas bernilai 1201 kg. Pada penggantian persen fraksi halus 5 % stabilitas bernilai 1660 kg. Ini berarti stabilitas mengalami kenaikan cukup tinggi, yaitu sebesar 27,6 %. Pada penggantian persen fraksi halus 10 % stabilitas mengalami kenaikan 15,5 % dari penggantian persen fraksi halus 5 % dengan nilai 1964 kg.

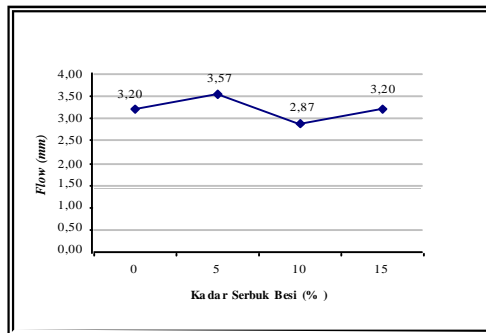
Pada penggantian persen fraksi halus 15 % nilai stabilitas naik menjadi 2093 kg. Ini berarti stabilitas mengalami kenaikan sebesar 6,1 % dari penggantian persen fraksi halus 10 %. Dengan demikian pergantian persen fraksi halus menyebabkan kenaikan nilai stabilitas. Kenaikan nilai stabilitas yang cukup tinggi dengan penggantian persen fraksi halus menggunakan serbuk besi, berarti meningkatkan kemampuan lapisan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas.

Kestabilan yang terlalu tinggi karena penggantian persen fraksi halus menggunakan serbuk besi menyebabkan lapisan menjadi lebih kaku (getas) dan cepat mengalami retak, mengakibatkan terjadinya gelombang, alur ataupun *bleeding*. Disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah.

### Flow

*Flow* yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis sehingga lebih mampu mengikuti

deformasi akibat beban. *Flow* yang rendah menandakan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang tinggi dari kondisi normal sehingga bisa mengakibatkan keretakan dan daya tahan yang rendah. Dari hasil penelitian pada persen penggantian fraksi halus dengan serbuk besi pada kadar 0%, 5%, 10% dan 15 % terhadap nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kadar Serbuk Besi Terhadap *flow*.

Gambar 2. memperlihatkan nilai kelelahan (*flow*) yang diperoleh dari hasil penelitian. Pada penggantian persen fraksi halus 0 %, kelelahan benda uji bernilai 3,20 mm. Kemudian naik pada penggantian persen fraksi halus 5 % sebesar 10,3% menjadi 3,5 mm. Pada penggantian persen fraksi halus 10 %, terjadi penurunan kelelahan yang cukup tinggi yaitu 10,3 % dengan nilai *flow* 2,9 mm. Pada penggantian persen fraksi halus 15 % nilai *flow* berada pada nilai yang sama pada penggantian persen fraksi halus 0 %, yaitu 3,2 mm.

Nilai *flow* yang didapat dari hasil penelitian agak sulit untuk menyimpulkan pengaruh dari penambahan persen penggantian fraksi halus dengan serbuk besi, karena pola grafik yang tidak menentu. Dari grafik terlihat nilai kelelahan (*flow*) akibat penggantian persen fraksi halus dengan menggunakan serbuk besi naik turun namun kembali pada variasi nilai sebelumnya. Hal ini berarti penggantian fraksi halus dengan menggunakan serbuk besi membuat nilai *flow* stabil.

Merujuk pada kajian sebelumnya bahwa kelelahan (*flow*) akan terus meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Pada

penelitian ini perolehan kadar aspal yang digunakan bernilai sama pada masing-masing variasi penggantian persen fraksi halus dengan menggunakan serbuk besi. Dengan demikian rentang kadar aspal yang sama membuat nilai kelelahan (*flow*) relatif stabil. Ini berarti dengan penggantian persen fraksi halus dengan menggunakan serbuk besi membuat campuran aspal beton menjadi stabil akibat perubahan bentuk plastis dengan pembebanan sampai batas keruntuhan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian dengan persen penggantian agregat halus menggunakan serbuk besi pada kadar 0 % - 15 % kondisi KAO, semua nilai karakteristik *Marshall* memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh spesifikasi BM.2005.
2. Nilai stabilitas maksimal sebesar 2093 kg pada kadar 15 %.
3. Nilai kelelahan maksimal sebesar 3,57 mm pada kadar 5 %.

### Saran

saran yang dapat diberikan adalah perlu penelitian lebih lanjut dengan menggunakan aspal dengan penetrasi yang berbeda dan hasil limbah serbuk besi dengan mutu tertentu.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Bahri, S., 2008, *Cangkang Kerang Laut Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Aspal*, Jurnal Lembaga Penelitian UNIB, Bengkulu.
2. Daryus, A., 27 Juni 2008 (Pukul 17.23 WIB), Diktat Kuliah Proses Produksi. <http://ft.unsada.ac.id>
3. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 1976, *Manual pemeriksaan bahan jalan*, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Penelitian dan Pengembangan, Jakarta

4. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 2005, *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Penelitian dan Pengembangan, Bandung
5. Soeprapto, 2000, *Bahan dan Struktur Jalan*, Biro Penerbit, Yogyakarta
6. Sukirman, S., 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Jakarta
7. Sukirman, S., 1995, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.