

# Perbandingan Karakteristik Pengujian Marshall Campuran Aspal Beton Dengan *Filler* Pasir Besi Dan Abu Batu

Hery Awan Susanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman 53371

Email : [hery.susanto@unsoed.ac.id](mailto:hery.susanto@unsoed.ac.id)

## ABSTRAK

Pembangunan jalan dengan perkerasan lentur terus meningkat dari tahun ke tahun, sedangkan ketersediaan material penyusun terus berkurang. Aspal dan agregat adalah material alam yang tidak bisa diperbaharui, sehingga pada suatu saat akan habis. Agregat juga mengalami perubahan bentuk dan kualitas akibat pengaruh iklim. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap penggunaan agregat alternatif. Pemanfaatan agregat alternatif akan lebih ekonomis dan efisien jika memanfaatkan potensi lokal. Salah satu potensi agregat yang melimpah di Selatan Pulau Jawa adalah pasir besi. Pemanfaatan pasir besi dalam campuran beraspal saat ini masih terbatas sebagai agregat halus. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pemanfaatan pasir besi sebagai pengganti *filler* dalam campuran beraspal. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan kinerja campuran aspal beton menggunakan *filler* pasir besi dan abu batu dengan pengujian Marshall di laboratorium. Dari hasil penelitian diketahui bahwa berat jenis campuran *filler* pasir besi 9% lebih tinggi dibandingkan dengan abu batu. Nilai stabilitas *filler* pasir besi 16,5% dan *Marshall Quotient* 44,7% lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* abu batu. Oleh karena itu *filler* pasir besi mampu menahan beban lalu lintas yang lebih baik dibandingkan *filler* abu batu. Penambahan *filler* pasir besi juga berdampak pada peningkatan elastisitas struktur *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), sehingga struktur perkerasan menjadi lebih kaku. Disisi lain campuran dengan *filler* pasir besi membuat struktur perkerasan rentan terjadinya *raveling*.

**Kata kunci:** Agregat, *Filler*, Pasir Besi, Abu Batu, AC-WC, Pengujian Marshall

## ABSTRACT

*The construction of flexible pavement continues to increase, while the availability of asphalt materials continues to decrease. Asphalt and aggregate are un-renewable materials, thus someday will run out. The aggregates also change in shape and quality due to climate change. Therefore, it is necessary to conduct research on the use of alternative aggregates. Utilization of alternative aggregates will be more economical and efficient if it utilizes local potential. One of the abundant aggregate potentials in South Java Island is iron sand. Utilization of iron sand in asphalt mixtures is currently still limited as a fine aggregate. Therefore, this study aims to investigate the use of iron sand as a substitute for filler in asphalt mixtures. This study also aims to compare the performance of asphalt concrete mix using iron sand and stone ash filler with Marshall testing in the laboratory. The result shows that the specific gravity of the iron sand filler mixture is 9% higher than that of stone ash. The stability value of iron sand filler is 16,5% and Marshall Quotient (MQ) is 44,7% higher than stone ash filler. The addition of iron sand filler also has an impact on increasing the elasticity of the asphalt concrete-wearing course (AC-WC), thus effect to more rigid. On the other hand, the mixture with iron sand filler makes the pavement structure vulnerable to raveling.*

**Keywords:** Aggregate, *Filler*, Iron Sand, Stone Ash, AC-WC, Marshall Test

## 1. PENDAHULUAN

Campuran aspal beton adalah jenis lapisan konstruksi jalan dengan bahan penyusun aspal dan agregat [1]. Tipe aspal beton yang dipakai umumnya adalah aspal penetrasi 60/70 atau 80/100. Sedangkan untuk agregat terdiri dari agregat kasar, halus, dan *filler* yang membentuk gradasi baik [2]. Proses pencampuran aspal dan agregat dilakukan pada suhu tertentu sesuai jenis lapisan perkerasan. Untuk jenis *hot mix asphalt* (HMA) suhu pencampuran aspal dan agregat berkisar 140-160 °C [3,4].

Dalam campuran aspal beton penggunaan *filler* berfungsi sebagai bahan pengisi di antara agregat kasar dan halus sehingga tidak terdapat rongga. *Filler* juga memberikan pengaruh terhadap kinerja campuran beraspal meliputi: *weathering*, *durability*, *bleeding*, dan *pliability*. Pemilihan *filler* dalam campuran beraspal harus kering, bersih, dan elastis [5,6]. *Filler* juga harus memiliki kadar air yang cukup, sehingga menghasilkan lapisan beton aspal yang kedap air [7].

Kualitas campuran aspal beton salah satunya dipengaruhi oleh ketersediaan material yang memenuhi spesifikasi teknis. Sumber material yang dekat dengan lokasi proyek juga akan menurunkan biaya konstruksi jalan. Saat ini abu batu (*stone ash*) banyak digunakan sebagai *filler* campuran beraspal. Namun demikian beberapa peneliti telah berhasil melakukan studi tentang penggunaan *filler* alternatif seperti: abu terbang (*fly ash*), kapur, abu sekam padi, semen, batu bata, dan abu sawit dalam campuran beraspal [8].

Pemanfaatan bahan *filler* alternatif berdasarkan potensi sumber daya lokal terus dikaji untuk menekan biaya pembangunan konstruksi jalan. Salah satu potensi lokal yang melimpah di pesisir pantai Selatan Pulau Jawa adalah pasir besi dengan jumlah produksi hampir mencapai 60%. Karakteristik yang dimiliki oleh pasir besi yaitu memiliki tekstur yang kasar dan berat jenis tinggi, sehingga mampu meningkatkan koefisien gesek permukaan perkerasan dan menurunkan kadar aspal dalam campuran beraspal.

Studi pemanfaatan pasir besi dalam campuran beraspal yang digunakan sebagai agregat halus mampu menunjukkan peningkatan stabilitas dan penurunan *flow* [9]. Hal ini dikarenakan kandungan besi (Fe) pada pasir besi yang mampu meningkatkan kekuatan pasir besi itu sendiri dan berdampak pada peningkatan kekuatan struktur jalan. Pemanfaatan pasir besi masih terbatas sebagai pengganti agregat halus saja [10]. Belum ada penelitian yang melakukan studi pemanfaatan pasir besi sebagai *filler* dalam campuran beraspal. Oleh karena itu dengan melihat potensi pasir besi yang besar di Kabupaten Cilacap dan dengan kadar Fe yang tinggi, maka perlu dilakukan penelitian pemanfaatan pasir besi sebagai *filler* dalam campuran beraspal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pemanfaatan pasir besi sebagai pengganti *filler* dalam campuran beraspal. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan kinerja campuran aspal beton menggunakan *filler* pasir besi dan abu batu.

## 2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Tahapan pengujian dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Perbandingan kinerja aspal beton dengan menggunakan *filler* pasir besi dan abu batu ditentukan melalui pengujian Marshall di laboratorium [11,12]. Tahapan pengujian dimulai dengan menyiapkan material penyusun aspal beton, pengujian karakteristik material, pembuatan sampel Marshall, penentuan kadar aspal optimum (KAO), pengujian Marshall berdasarkan nilai KAO [13].

### 2.1 Pengujian Material di Laboratorium

Dalam penelitian ini dipilih campuran aspal beton jenis *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), karena lapisan ini adalah lapisan teratas yang secara langsung mendapatkan beban lalu lintas kendaraan. Selanjutnya aspal penetrasi tipe 60/70 dipilih dengan pertimbangan aspal tipe ini sering digunakan dalam pembuatan jalan di Indonesia. Pengujian sifat fisik aspal harus memenuhi standar Bina Marga [7]. Material agregat kasar, halus, dan abu batu diperoleh dari PT. Sambas Wijaya, Purbalingga. Sedangkan untuk *filler* pasir besi diperoleh dari penambangan tradisional di Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap. Karakteristik agregat yang digunakan harus memenuhi standar pengujian dari Bina Marga [7]. Gradasi agregat gabungan harus dikontrol agar memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Untuk mengetahui persentase rongga di antara agregat dan dalam campuran AC-WC dilakukan pengujian berat jenis *filler*.

Tabel 1 Tabel 4 menunjukkan spesifikasi pengujian aspal dan agregat untuk campuran beton aspal berdasarkan standar Bina Marga. Sedangkan Gambar 1 adalah gradasi agregat gabungan yang harus dicapai untuk mendapatkan campuran AC-WC [7].

Tabel 1. Spesifikasi Pengujian Aspal Penetrasi

Pengujian	Spesifikasi
Penetrasi pada 25°C (dmm)	60 - 70
Titik Lembek (°C)	Min. 48
Titik Nyala (°C)	Min. 232
Daktilitas pada 25°C	Min. 100
Berat Jenis	Min. 1
Indeks penetrasi	Min. -1
Kelarutan dalam Toluene (%)	Min. 99
Pengujian hasil residu hasil TFOT	
Berat yang hilang (TFOT), % berat	Max. 0.8
Penetrasi pada 25°C (dmm)	Min. 54
Daktilitas pada 25°C (cm)	Min. 100
Indeks penetrasi	Min. -1

Tabel 2. Spesifikasi Pengujian Agregat Kasar

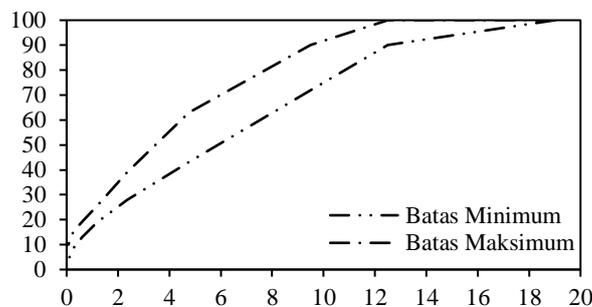
Pengujian	Spesifikasi
Kekekalan bentuk agregat	Maks. 12 %
Abrasi	Maks. 30%
Kelekatan agregat terhadap aspal	Min. 95 %
Angularitas (kedalaman < 10 cm)	95/90
Angularitas (kedalaman ≥ 10 cm)	80/75
Partikel pipih dan lonjong	Maks. 10 %
Material lolos ayakan No. 200	Maks. 1%

Tabel 3. Spesifikasi Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Spesifikasi
Nilai setara pasir	Min. 70 %
Material lolos ayakan No. 200	Maks. 8 %
Angularitas (kedalaman < 10 cm)	Min. 45
Angularitas (kedalaman ≥ 10 cm)	Min. 40
Kadar lempung	1%

Tabel 4. Spesifikasi Pengujian Filler

Pengujian	Spesifikasi
Lolos saringan No.200	≥ 75 %



Gambar 1. Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

## 2.2 Analisis Perbandingan Kinerja Hasil Pengujian Marshall

Setelah material memenuhi semua spesifikasi yang berlaku, maka dilakukan pembuatan sampel Marshall untuk mencari nilai KAO dengan *filler* abu batu. Penentuan awal nilai KAO dilakukan dengan menggunakan persamaan empiris pada persamaan (1) [7].

$$P_b = 0,035(\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \quad (1)$$

keterangan;

$P_b$ =Perkiraan kadar aspal terhadap campuran; persentase berat terhadap campuran (%)

CA=*Coarse Agregate*; Agregat kasar tertahan saringan No. 8 (2,36mm)

FA=*Fine Agregate*; Agregat halus lolos saringan No. 8 (2,36 mm)

FF=*Fine Filler*; bahan pengisi lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

K=Konstanta; untuk laston AC-WC dipakai 0,5–1,0

Sampel untuk mencari nilai KAO dibuat masing-masing berjumlah 3 buah sesuai Tabel 5. Ketentuan nilai kadar aspal pendekatan dilakukan berdasarkan nilai  $P_b$ , yaitu: ( $P_b-1\%$ ), ( $P_b-0,5\%$ ),  $P_b$ , ( $P_b+0,5\%$ ), dan ( $P_b+1\%$ ) [7].

Tabel 5. Jumlah Sampel Marshall untuk mencari KAO

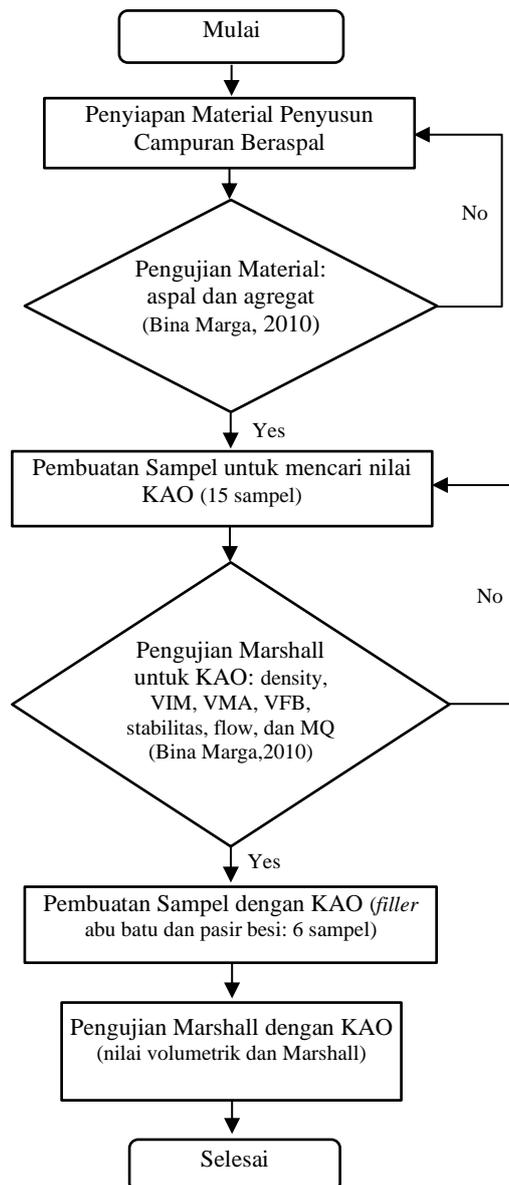
Jenis Filler	Variasi Kadar Aspal				
	-1%	-0,5%	Pb	+0,5%	+1%
Abu Batu	3	3	3	3	3

Setelah mendapatkan nilai KAO ( $Pb_{opt}$ ), maka dilakukan pengujian Marshall aspal beton dengan *filler* abu batu dan pasir besi sesuai Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Sampel Marshall dengan KAO

Jenis Filler	KAO
Abu batu	3
Pasir besi	3

Selanjutnya dari hasil pengujian tersebut di atas, maka bisa dilakukan analisis perbandingan kinerja aspal beton dengan 2 jenis *filler*, yaitu abu batu dan pasir besi. Gambar 2 adalah diagram alur penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Parameter pengujian Marshall meliputi nilai volumetrik dan nilai Marshall. Nilai volumetrik terdiri dari *density* (Gr/mm), *Voids in Mix* (VIM:%), *Voids in Mineral Agregate* (VMA:%), *Voids Filled Bitumen* (VFB:%). Sedangkan nilai Marshall terdiri dari stabilitas (Kg), flow (mm), dan *Marshall Quotient* (MQ: Kg/mm).



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakteristik Material *Asphalt Concrete Wearing Course*

Hasil pengujian karakteristik material ditampilkan dari mulai Tabel 7 Tabel 10. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan gradasi agregat gabungan dari hasil pengujian *sieve analysis*. Dari data hasil pengujian dapat diketahui bahwa material yang dipakai memenuhi standar yang ditentukan oleh Bina Marga. Aspal penetrasi 60/70 yang dipakai dalam campuran beraspal telah memenuhi semua kriteria sifat rheologi aspal sesuai spesifikasi Bina Marga dalam Tabel 1. Sehingga aspal penetrasi 60/70 dapat digunakan dalam campuran beraspal. Hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 terangkum dalam Tabel 7. Demikian pula dengan agregat kasar, halus, dan *filler* berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan telah memenuhi semua spesifikasi seperti yang disyaratkan oleh Bina Marga dalam Tabel 2-4. Sehingga agregat yang dipilih dapat digunakan dalam campuran beraspal. Hasil pengujian agregat ditampilkan dalam Tabel 8-10. Tabel 11 menunjukkan hasil pengujian berat jenis *filler* antara pasir besi dan abu batu. Berat jenis pasir besi lebih tinggi daripada berat jenis abu batu. Berdasarkan nilai volumetrik, maka berat jenis yang tinggi akan berdampak pada *density* yang lebih tinggi dan efisiensi berat material.

Tabel 7. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian	Hasil Pengujian
Penetrasi pada 25°C (dmm)	66
Titik Lembek (°C)	56,7 °C
Titik Nyala (°C)	322 °C
Daktilitas pada 25°C	> 110 cm
Berat Jenis	1,042 gr/cc
Indeks penetrasi	1,19
Kelarutan dalam Toluene (%)	99,3 %
Pengujian hasil residu hasil TFOT	
Berat yang hilang (TFOT), % berat	0,28 %
Penetrasi pada 25°C (dmm)	65,8
Daktilitas pada 25°C (cm)	>110 cm
Indeks penetrasi	1,17

Tabel 8. Hasil Pengujian Agregat Kasar

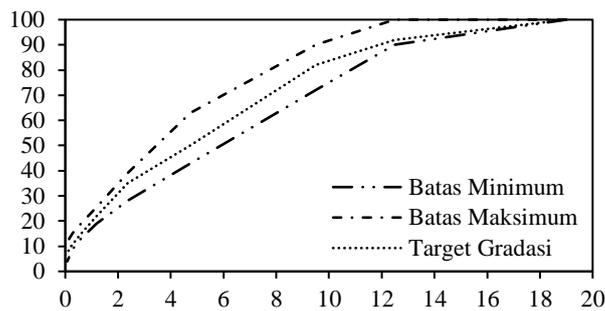
Pengujian	Hasil Pengujian
Kekekalan bentuk agregat	3,132 %
Abrasi	29,80%
Kelekatan agregat terhadap aspal	98,00%
Angularitas (<10 cm)	94.70%
Angularitas (≥10 cm)	-
Partikel pipih dan lojong	8,46 %
Material lolos ayakan No. 200	0,67%

Tabel 9. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Hasil Pengujian
Nilai setara pasir	70,85 %
Material lolos ayakan No. 200	6,672%
Angularitas (kedalaman<10cm)	93,32%
Angularitas (kedalaman≥10cm)	93,23%
Kadar lempung	0,98%

Tabel 10. Hasil Pengujian *Filler*

Pengujian	Hasil Pengujian
Berat butiran yang lolos ayakan 75 mikron	83,40%



Gambar 3. Gradasi Agregat Gabungan Hasil Analisa Saringan

Tabel 11. Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

Persentase <i>Filler</i>	BJ Bulk	BJ Apparent	BJ Efektif
Abu batu	2,608	2,736	2,672
Pasir besi	2,829	3,011	2,924

### 3.2 Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

Tabel 12 Tabel 13 menunjukkan proses penentuan nilai KAO. Tabel 12 adalah hasil pengujian Marshall untuk mencari nilai KAO. Setelah mendapatkan nilai karakteristik pengujian Marshall, kemudian nilai KAO dicari dengan menggunakan cara pada Tabel 13. Penentuan Nilai KAO.

Tabel 12. Hasil Pengujian Marshall untuk mencari KAO

Kadar aspal (%)	3,5	4	4,5	5	5,5
Density (Gr/cc)	2,408	2,376	2,365	2,347	2,323
VFB (%)	60	66	69	76	83
VIM (%)	5,99	4,57	4,21	3,44	2,43
VMA (%)	12,3	14,78	14,84	14,99	15,01
Stabilitas (Kg)	826	947	956	977	1166
Flow (mm)	6,83	6,3	5,99	5,45	4,91
MQ (Kg/mm)	121	150	160	179	238

Tabel 13. Penentuan Nilai KAO

Kriteria	Spesifikasi	Kadar aspal (%)				
		3,5	4	4,5	5	5,5
Density (Gr/cc)	-	[Bar chart showing density values for each asphalt content]				
VFB (%)	Min.65	[Bar chart showing VFB values for each asphalt content]				
VIM (%)	3-5,9	[Bar chart showing VIM values for each asphalt content]				
VMA (%)	Min.15	[Bar chart showing VMA values for each asphalt content]				
Stabilitas (Kg)	Min.800	[Bar chart showing stability values for each asphalt content]				
Flow (mm)	Min. 2	[Bar chart showing flow values for each asphalt content]				
MQ (Kg/mm)	Min. 200	[Bar chart showing MQ values for each asphalt content]				

Pb<sub>opt</sub>=5,5%

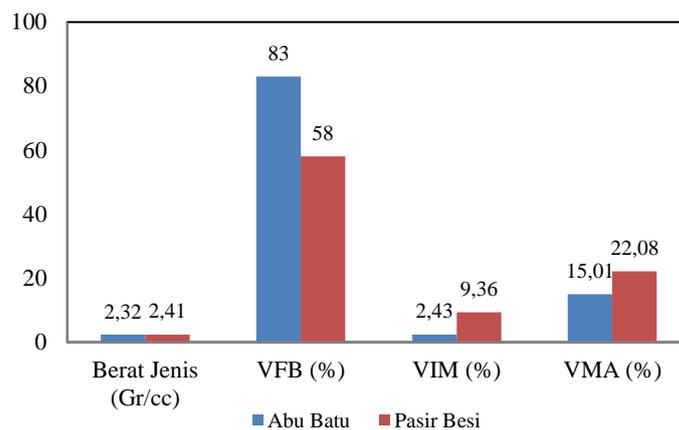
### 3.3 Hasil Pengujian Marshall dengan KAO

Gambar 4 Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian Marshall untuk sampel dengan *filler* abu batu dan pasir besi dengan nilai KAO 5,5%. Terlihat dari hasil uji berat jenis sampel AC-WC dengan *filler* pasir besi sebesar 2,41 Gr/cc, sedangkan *filler* abu batu sebesar 2,32 Gr/cc. Berat jenis *filler* pasir besi 9% lebih tinggi dibandingkan dengan abu batu. Dengan volume yang sama dan berat jenis berbeda, maka kebutuhan material penyusun sampel menjadi berbeda. Hal ini dikarenakan berat jenis efektif pasir besi lebih tinggi daripada abu batu, sehingga campuran dengan *filler* pasir besi membutuhkan jumlah material penyusun

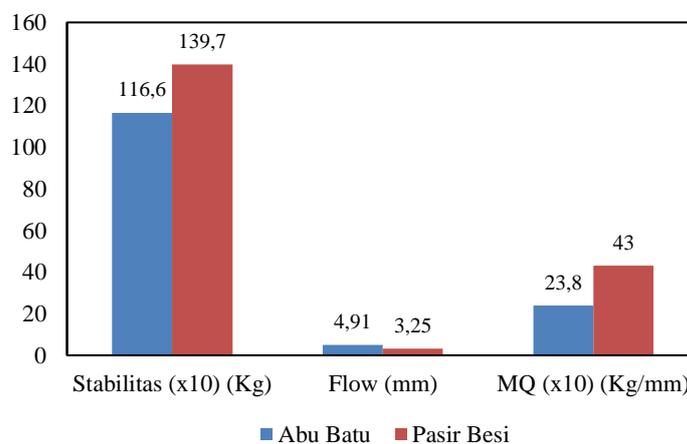
yang lebih sedikit. Campuran dengan berat jenis yang besar juga menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki kekuatan yang besar dalam menahan beban lalu lintas.

Dari nilai VFB dapat diketahui bahwa campuran AC-WC dengan *filler* abu batu sebesar 83%, sedangkan *filler* pasir besi sebesar 58%. VFB *filler* abu batu 30,12% lebih tinggi dibandingkan pasir besi, sehingga campuran AC-WC dengan *filler* abu batu membutuhkan aspal yang lebih banyak dibandingkan pasir besi. Nilai VFB yang tinggi akan berpotensi terhadap terjadinya *bleeding* dalam campuran, sehingga harus diantisipasi dengan baik. Sedangkan jika ditinjau dari nilai VIM, maka campuran AC-WC dengan *filler* pasir besi memiliki nilai 9,36%, dan *filler* abu batu 2,43%. *Filler* pasir besi memiliki VIM 74,04% lebih tinggi dibandingkan abu batu. Hal ini berakibat campuran AC-WC dengan *filler* pasir besi berpotensi terjadinya pelepasan butiran (*raveling*). Nilai VMA campuran dengan *filler* pasir besi memiliki VMA sebesar 22,08%, dan abu batu sebesar 15,01%. VMA *filler* pasir besi 32,02% lebih tinggi dibandingkan abu batu. Peningkatan nilai VMA pada *filler* pasir besi menyebabkan mengecilnya rongga yang terisi aspal.

Dari analisis nilai stabilitas, *flow* dan MQ dapat diketahui bahwa nilai stabilitas *filler* pasir besi sebesar 1397 Kg, *flow* 3,25 mm, dan MQ 43 Kg/mm. Sedangkan *filler* abu batu memiliki nilai stabilitas *filler* pasir besi sebesar 1166 Kg, *flow* 4,91 mm, dan MQ 23,8 Kg/mm. Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas *filler* pasir besi sebesar 16,5% lebih tinggi, *flow* 33,8 % lebih rendah, dan MQ 44,7% lebih tinggi dibandingkan *filler* abu batu. Dari korelasi ketiga nilai tersebut maka *filler* pasir besi memberikan sifat struktur AC-WC lebih kaku dibandingkan dengan *filler* abu batu.



Gambar 4. Perbandingan Kinerja Campuran AC-WC berdasarkan Nilai Volumetrik Pengujian Marshall pada KAO



Gambar 5. Perbandingan Kinerja Campuran AC-WC berdasarkan Karakteristik Nilai Marshall pada KAO

#### 4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan *filler* abu batu dan pasir besi. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- a) Berat jenis campuran *filler* pasir besi 9% lebih tinggi dibandingkan *filler* abu batu yang berdampak pada kebutuhan berat material yang lebih sedikit, sehingga lebih ekonomis.

- b) Bahwa *filler* pasir besi memiliki stabilitas 16,5% dan MQ 44,7% lebih tinggi dibandingkan *filler* abu batu, sehingga mampu menahan beban lalu lintas yang lebih baik.
- c) Penambahan pasir besi sebagai *filler* berdampak pengurangan elastisitas struktur AC-WC, sehingga menjadi lebih kaku.
- d) Campuran dengan *filler* pasir besi membuat struktur rentan terhadap *raveling*, sedangkan campuran dengan *filler* abu batu rentan terhadap *bleeding*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indraswari H., Bahan Perkerasan Jalan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 1971, Jakarta.
- [2] Anas T., “Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar *Filler* Abu Terbang Batu Bara”, *Jurnal SMARTek*, Vol. 7, No. 4, November 2009: 256 – 278.
- [3] Sukirman S., Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1999, Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- [4] Sukiman S., Beton Aspal Campuran Panas, Buku Obor, 2008, Jakarta.
- [5] Sjachril M., Perencanaan Bahan Campuran Aspal, 2008, Pusdiklat Departemen Pekerjaan Umum.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum, Perencanaan Material Campuran Aspal, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, 2004, Jakarta.
- [7] Bina Marga, Seksi 6.3, Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2010, Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.
- [8] Mulyono, A.T., “Pengaruh Variasi Jenis dan Kadar *Filler* Terhadap Stabilitas, Fleksibilitas dan Tingkat Durabilitas HRS (*Hot Rolled Sheet*) Kelas B”, *Media Teknik*, No.3, Edisi November 1996, UGM, Yogyakarta.
- [9] Priambodo A., Kajian Laboratorium Pengaruh Penggunaan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus pada campuran Aspal Panas HRA terhadap sifat Marshall dan Durabilitas, Tesis Tidak Diterbitkan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro, 2003, Semarang. (eprints.undip.ac.id)
- [10] Goenarto and Mario, Penggunaan Limbah Pasir Besi sebagai Bahan Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton, Skripsi, Petra Christian University, 2002.
- [11] SKNI-M-58-1990-03, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Departemen pekerjaan Umum, 1990, Jakarta.
- [12] Bina Marga, RSNI-M-01, Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall, 2003, Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- [13] Indraswari H., Aspal Beton, Perencanaan Campuran Di Laboratorium, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 1976, Jakarta.