

## PEMANFAATAN LIMBAH SERBUK BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPAL PANAS

**Samsul Bahri<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl. W. R. Supratman,  
Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp. (0736)344087  
email: sbahri1972@yahoo.co.id

### Abstrak

Memanfaatkan suatu limbah industri untuk mendapatkan nilai tambah, merupakan bentuk inovasi dalam suatu penelitian. Tujuan penelitian ini adalah mencari pengaruh dan perbandingan nilai karakteristik Marshall antara campuran aspal panas normal dengan campuran aspal panas yang agregat halus diganti dengan limbah serbuk besi. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan metode Marshall *test*. Komposisi penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi ditetapkan sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian yang memenuhi spesifikasi kadar aspal optimum dan uji Marshall hanya variasi penggantian 0% dan variasi 25%. Variasi 25% lebih unggul dalam pemenuhan parameter Marshall. Ketika agregat halus diganti dengan limbah serbuk besi sebesar 25%, terjadi efisiensi penggunaan aspal sebesar 17,86%. Dengan demikian limbah serbuk besi dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran aspal (PANAS) dengan kadar maksimum 25%.

**Kata kunci:** campuran aspal panas, serbuk besi, parameter Marshall

### Abstract

*One of innovation in research is utilizing an industrial waste to obtain value-added. The purpose of this study is to find the effect of and Marshall characteristic value comparison between normal asphalt hotmix and the one which fine aggregate is replaced with waste iron filings. The study was conducted in the laboratory to test Marshall method. The composition of fine aggregate replacement with waste iron powder set at 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The result showed that variation which met the specifications of the optimum bitumen content and parameter were only variation of 0% and a variation of 25%. Variation at 25% is superior in terms of the fulfillment of the Marshall parameters. When the fine aggregate replaced with iron filings waste by 25%, the use of bitumen was more efficient at 17.86%. Therefore, waste iron powder can be used as a substitute for the refined aggregate. A mixture of asphalt with a maximum level of 25%.*

**Keywords:** asphalt hotmix, iron powder, parameters marshall

## PENDAHULUAN

Sektor transportasi khususnya transportasi darat ibaratnya adalah urat nadi kehidupan bangsa dan rakyat Indonesia. Keberadaan transportasi darat menduduki tempat yang strategis karena segala bidang kegiatan dapat berjalan dengan lancar jika performa sarana dan prasarana transportasi darat optimal. Harapan itu tidak sepenuhnya tercapai mengingat kondisi sebagian konstruksi jalan sangat memprihatinkan. Banyaknya jalan-jalan yang rusak dengan berbagai penyebab menambah potret buruk prasarana jalan di Indonesia.

Usaha untuk memperbaiki konstruksi jalan secara kontinyu terus dilakukan. Berbagai inovasi dan temuan baru senantiasa dikembangkan dan diaplikasikan dalam usaha perbaikan dan optimalisasi prasarana jalan. Penelitian untuk mengkaji dan memanfaatkan potensi sumber daya yang tersedia secara nyata terus dilakukan. Penelitian untuk memanfaatkan limbah serbuk besi adalah bagian dari usaha tersebut.

Limbah serbuk besi adalah sisa potongan atau sisa dari pembubutan besi tuang dalam kegiatan industri. Limbah yang dihasilkan dari sisa bubut dibuang saja tanpa memikirkan dampak negatif pada lingkungan. Penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan limbah serbuk besi pada campuran aspal panas jenis AC-BC.

### Campuran aspal panas

*Asphalt hotmix* didefinisikan sebagai campuran aspal panas lapisan padat dimana jenisnya berupa lapisan pondasi, lapis perata dan lapis aus. Lapisan ini tersusun dari beberapa agregat dan bahan aspal yang dicampur secara panas (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010). Sedangkan menurut Saodang (2005) beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan

tambahan. Material dicampur di tempat pencampuran pada suhu tertentu lalu diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan.

### Bahan penyusun aspal

Rancangan campuran aspal terdiri dari hasil pencampuran agregat kasar, agregat halus, aspal dan *filler* sebagai bahan pengisi, dengan nilai perbandingan tertentu. Bahan-bahan campuran aspal harus memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam spesifikasi (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010).

### Agregat

Menurut Siswosoebrotho (2010), agregat bahan utama yang turut menahan beban yang diderita oleh bagian perkerasan jalan sehingga perlu digunakan bahan pengikat aspal yang sangat berpengaruh oleh mutu agregat. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) agregat terdiri dari agregat halus dan agregat kasar.

### Aspal

Aspal adalah material yang berwarna hitam atau coklat tua dan berfungsi sebagai bahan pengikat. Aspal pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, sebagian besar terbentuk dari unsur hidrokarbon yang disebut bitumen, sehingga seringkali aspal disebut pula *bituminous material* (Amal, 2011).

### Serbuk besi

Biji besi yang didapatkan dari alam umumnya merupakan senyawa besi dengan oksigen seperti *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *limonite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) atau *siderite* ( $\text{Fe}_2\text{CO}_3$ ). Pembentukan senyawa besi oksida tersebut sebagai proses alam yang terjadi selama beribu-ribu tahun. Kandungan senyawa besi di bumi ini mencapai 5% dari seluruh kerak bumi ini. Serbuk besi adalah bagian dari hasil sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang yang merupakan hasil di pemakaian industri (Daryus, 2008).

### Karakteristik aspal

Menurut Sukirman (2007), karakteristik yang harus dimiliki dalam campuran aspal adalah stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, ketahanan, kekesatan, kedap air dan *workability*.

1. Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*.
2. Durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan. Durabilitas dipengaruhi oleh selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.
3. Fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak.
4. Ketahanan adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.
5. Kekesatan adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip.
6. Kedap air merupakan kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara.
7. *Workability* merupakan kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

### Pengujian Marshall

Pengujian Marshall merupakan pengujian laboratorium yang meliputi pengujian karakteristik campuran dan perencanaan

kadar aspal optimum (KAO). Ketentuan sifat-sifat campuran aspal beton (laston) menurut spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Ketentuan Sifat-Sifat Laston

Sifat-sifat campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75	112	
VIM (%)	Min	3,5		
	Max	5,5		
VFA (%)	Min	15	14	13
VMA (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
	Max	-		-
Flow (mm)	Min	3	5	
MQ (kg/mm)	Min	250	300	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60°C	Min	75		
<i>Refusal</i>	Min	2,5		

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal, *filler* dan limbah serbuk besi. Pengujian sifat-sifat campuran aspal dilakukan dengan *Marshall test*. Variasi penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Serbuk besi yang digunakan diseleksi sehingga memiliki gradasi yang sama dengan gradasi agregat halus. Bahan utama *filler* berupa semen *portland*. Sedangkan aspal yang digunakan memiliki penetrasi 60/70.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik Marshall didapat bahwa variasi yang memenuhi persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) adalah variasi 0% (kondisi normal) dan variasi 25%. Nilai KAO untuk kondisi normal yaitu sebesar 5,60% dan nilai KAO untuk variasi 25% sebesar 4,60%. Kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi penghematan penggunaan aspal sebesar 17,86% ketika agregat halus diganti dengan limbah serbuk besi sebesar 25%.

### Karakteristik Marshall

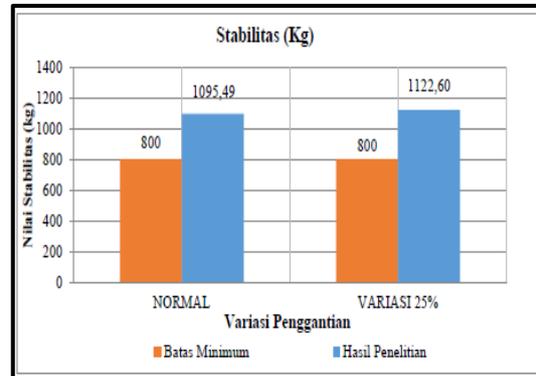
#### Stabilitas

Kemampuan perkerasan jalan ketika menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk merupakan syarat kelayakan suatu jalan. Perubahan bentuk yang dimaksud berupa gelombang, alur, dan *bleeding*. Stabilitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan lapisan perkerasan jalan.

Hasil penelitian memperlihatkan penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25% didapat nilai stabilitas sebesar 1122,6 kg. Sedangkan tanpa penggantian agregat halus atau kondisi normal stabilitasnya sebesar 1095,49 kg. Artinya terjadi peningkatan stabilitas sebesar 3,23% akibat penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25%. Nilai stabilitas kondisi tanpa penggantian (normal) dan variasi penggantian 25% ditampilkan dalam Gambar 1. Nilai stabilitas yang didapat berada diatas batas minimal spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) yaitu minimum 800 kg.

Peningkatan stabilitas akibat penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25% diperkirakan karena limbah serbuk besi mampu meningkatkan proses

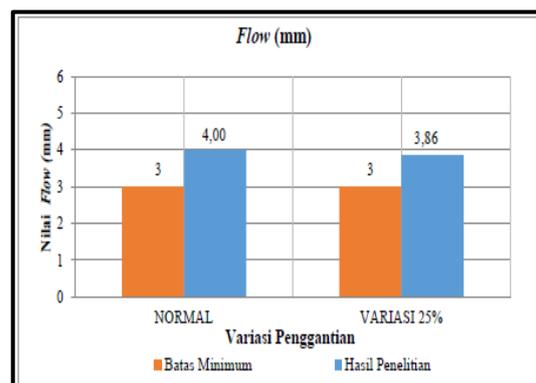
pengikatan agregat oleh aspal. Besi bersifat konduktor, sehingga pada saat pencampuran aspal dalam kondisi panas, besi mampu mempercepat proses pemanasan dan mempertahankan suhunya.



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Stabilitas Variasi Penggantian dan Kondisi Normal

#### Kelelahan (*Flow*)

Saat perkerasan jalan menerima beban lalu lintas sampai batas keruntuhan, maka akan mengalami perubahan bentuk plastis yang dikenal dengan *flow* atau kelelahan. Besarnya nilai *flow* sangat dipengaruhi oleh besarnya kandungan aspal dalam campuran aspal. *Flow* yang rendah menandakan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal.



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Flow dengan Variasi Penggantian dan Kondisi Normal

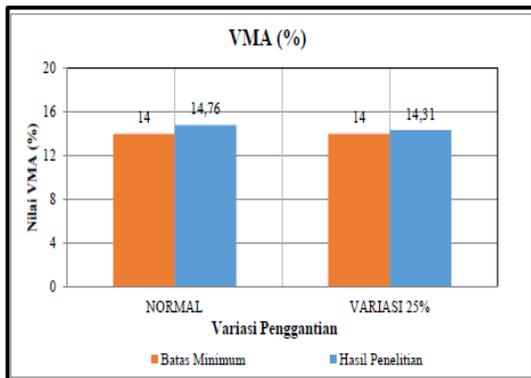
Gambar 2 menyajikan hasil pengujian nilai *flow*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanpa penggantian agregat halus atau kondisi normal didapatkan nilai *flow* sebesar

4,00 mm. Penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25% didapat nilai *flow* 3,86 mm. Hasil tersebut memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) untuk kelelahan (*flow*) yaitu minimum 3 mm.

#### ***Voids in Mineral Agregat (VMA)***

Tingkat kekakuan perkerasan jalan dapat diketahui dari nilai rongga dalam mineral agregat (*Voids in Mineral Agregat*, VMA). Nilai VMA banyak terpengaruh oleh bentuk dan tekstur dari material agregat serta metode pemadatan yang digunakan.

Hasil dari pengujian didapat nilai VMA penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi 25% sebesar 14,31%. Sedangkan tanpa penggantian agregat halus nilai VMA sebesar 14,76%. Secara keseluruhan nilai VMA memenuhi persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) yaitu minimum 14%. Hasil dari pengujian disajikan pada Gambar 3.

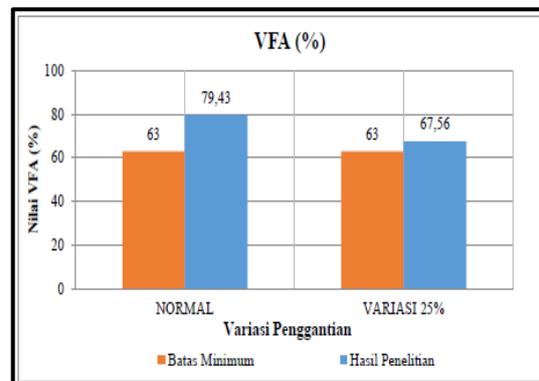


**Gambar 3.** Grafik Hubungan VMA dengan Variasi Penggantian dan Kondisi Normal

Nilai VMA penggantian limbah serbuk besi pada variasi 25% lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penggantian. Ini berarti campuran aspal dengan penggantian limbah serbuk besi pada variasi 25% memiliki kekedapan lebih tinggi. Kondisi ini diperkirakan karena limbah serbuk besi mampu mengisi rongga-rongga campuran aspal secara baik.

#### ***Voids Filled by Asphalt (VFA)***

*Voids Filled by Asphalt* (VFA) adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal, atau volume selimut aspal. Gambar 4 menunjukkan campuran dengan penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi 25% nilai VFA sebesar 67,56%, nilai jauh lebih kecil dibandingkan tanpa dilakukan penggantian agregat halus dengan nilai VFA sebesar 79,43%. Secara keseluruhan nilai VFA memenuhi persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) untuk VFA yaitu minimum 63%.

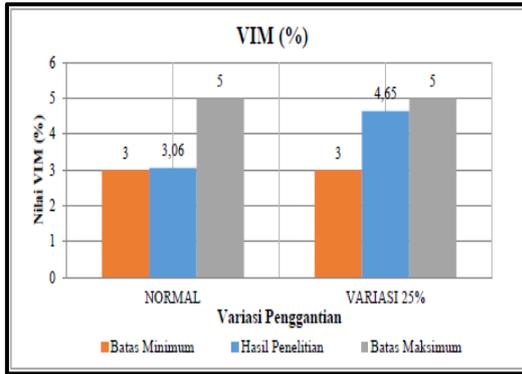


**Gambar 4.** Grafik Hubungan VFA dengan Variasi Penggantian dan Kondisi Normal

#### ***Voids in Mixture (VIM)***

Saat perkerasan jalan mengalami pemadatan tambahan oleh repetisi beban lalu lintas atau aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur, maka dibutuhkan volume pori untuk bergeserkan butir-butir agregat dalam rangka konsolidasi. Volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan disebut dengan *Voids In Mixture* (VIM).

Dari Gambar 5, hasil campuran dengan penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi 25% didapat nilai VIA sebesar 4,65% sedangkan tanpa dilakukan penggantian agregat halus nilai VIM sebesar 3,06%. Secara keseluruhan nilai VIM memenuhi persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) untuk nilai VIM adalah 3-5%.



**Gambar 5.** Grafik Hubungan VIM dengan Variasi Penggantian dan Kondisi Normal

Kemampuan campuran aspal pada kondisi penggantian maupun tanpa penggantian agregat halus untuk tetap mampu mempertahankan nilai VIM pada batas-batas yang disyaratkan menunjukkan kemampuan masing-masing material untuk mengisi rongga-rongga pori yang tercipta.

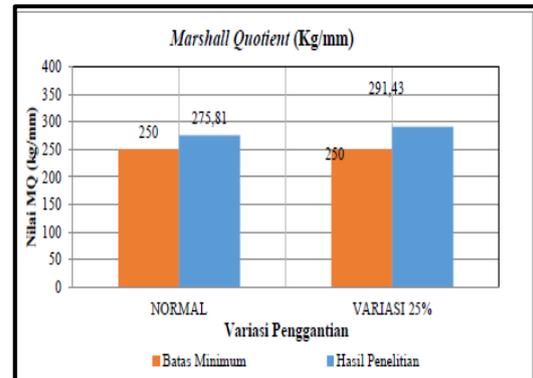
#### Marshall Quotient (MQ)

Perkerasan jalan yang unggul harus memiliki stabilitas yang mantap serta kelelahan yang cukup saat menerima repetisi beban lalu lintas. Keseimbangan antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan dinyatakan dengan nilai Marshall Quotient (MQ). Nilai MQ yang terlalu besar menunjukkan kekuatan campuran perkerasan tinggi dan kaku, berakibat mudahnya terjadi retakan, sebaliknya bila harga MQ terlalu kecil menunjukkan terlalu plastis yang berakibat mudah mengalami deformasi.

Penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi 25% didapatkan nilai MQ sebesar 291,43 kg/mm sedangkan tanpa penggantian nilainya hanya 275,81 kg/mm. Secara keseluruhan nilai MQ memenuhi persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) yaitu minimum 250 kg/mm.

Berdasarkan Gambar 6 nilai MQ dengan penggantian 25% lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penggantian. Campuran aspal dengan penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi sebesar 25% lebih

memiliki indikasi lebih mantap dibandingkan tanpa penggantian agregat halus.



**Gambar 6.** Grafik Hubungan MQ dengan Variasi Penggantian dan Kondisi Normal

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Pada variasi penggantian limbah serbuk besi 0% didapatkan kadar aspal optimum sebesar 5,6%
2. Pada variasi penggantian limbah serbuk besi 25% didapatkan kadar aspal optimum sebesar 4,6%.
3. Persentase terbaik pada penggantian agregat halus dengan limbah serbuk besi terdapat pada kadar penggantian sebesar 25% dari berat campuran.
4. Variasi 25% lebih unggul dalam pemenuhan syarat-syarat parameter Marshall.
5. Terjadi penghematan penggunaan aspal sebesar 17,86% ketika agregat halus diganti dengan limbah serbuk besi sebesar 25%.
6. Limbah serbuk besi dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran aspal dengan kadar maksimum 25%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Amal, A. S. 2011. **Pemanfaatan Getah Karet pada Aspal AC 60/70 terhadap Stabilitas Marshall pada Asphalt**

- Treated Base (ATB)*. Media Teknik Sipil. Vol. 9. No. 1. hal 9.
- Daryus, A. 2008. **Diktat Kuliah Proses Produksi**, <http://ft.unsada.ac.id>. diakses 28 April 2016 (Pukul 20.36 WIB).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. **Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan**. Revisi 3. Divisi VI, Jakarta.
- Saodang, H. 2005. **Perancangan Perkerasan Jalan Raya**. Nova, Bandung.
- Siswosoebrotho, B.I., Ginting, K., dan Soedirjo, T.L. 2010. **Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregates Shape**. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol.6.
- Sukirman, S. 2007. **Campuran Aspal Panas**. Granit, Bandung.

