

# PENGARUH PENGGUNAAN *COPPER SLAG* PADA BETON ASPAL

JF Soandrijanie L \*)

\*)*Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl Babarsari 44 Yogyakarta*  
*Email: jose@staff.uajy.ac.id*

## ABSTRAK

Kebutuhan agregat untuk perkerasan jalan terus meningkat, maka perlu dicari bahan alternatif untuk mencegah habisnya bahan tersebut. *Copper slag* yang merupakan sisa dari peleburan biji tembaga diharapkan dapat menjadi pengganti agregat halus pada perkerasan beton aspal.

Penelitian ini menggunakan Metode Marshall berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1987 dengan gradasi rapat tipe III dan IV dan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memenuhi semua nilai karakteristik marshall pada beton aspal, *copper slag* dapat digunakan sebagai agregat halus bila menggunakan kadar aspal 7%.

Kata kunci: Beton aspal, karakteristik marshall, agregat halus, *copper slag*

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan akan sarana transportasi harus diimbangi dengan peningkatan prasarannya. Sebagai prasarana perhubungan yang sangat penting, jalan harus bebas dari kerusakan-kerusakan, baik bergelombang, retak, bahkan pelepasan butir. Untuk itu diperlukan konstruksi perkerasan jalan yang tidak aman dan nyaman tapi juga memenuhi standar kualitas. Peningkatan kualitas jalan raya, khususnya struktur perkerasan sangat dipengaruhi oleh material penyusunnya. Kekuatan jalan tergantung dari bahan batuan yang digunakan, baik ukuran, bentuk, maupun kekerasannya.

Penggunaan bahan batuan alami dalam jumlah banyak dan berlangsung secara terus menerus dapat menghabiskan persediaan bahan batuan alami yang jumlahnya terbatas, karena bahan batuan/agregat merupakan bahan tambang yang tidak dapat diperbaharui. Untuk itu perlu dicarikan pengganti agregat alami, yaitu dengan memanfaatkan agregat buatan. Beberapa agregat buatan yang biasa digunakan antara lain : *expanded shale*, *expanded slag*, dan terak dari hasil sampingan pembakaran bijih besi pada tanur tinggi. *Expanded shale* dan *expanded slag* memiliki nilai keras yang rendah, sedangkan terak nilai kerasnya cukup tinggi, tetapi memiliki kandungan belerang sehingga dapat menyebabkan korosi. PT Smelting sebagai pabrik pelebur bijih tembaga di Gresik, Jawa Timur, menghasilkan limbah berupa *copper slag*, yang merupakan material non logam dengan komposisi terbesar  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{FeO}$ , memiliki bentuk agak pipih dengan tekstur permukaan tajam/bersudut, serta berwarna kehitaman. Limbah tembaga/*copper slag* yang dihasilkan PT Smelting ini setiap tahunnya dapat mencapai 300-500 ton. Sangat disayangkan apabila limbah yang memiliki kelebihan ini tidak dimanfaatkan secara maksimal.

*Copper slag* pernah digunakan sebagai pengganti pasir/agregat halus pada campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *copper slag* layak digunakan sebagai pengurangan jumlah agregat halus dalam beton. Hal ini ditunjukkan dengan hasil yang diperoleh bahwa beton *copper slag* memenuhi kriteria beton normal, nilai kuat tekannya mengalami kenaikan (mekipun tidak signifikan) untuk semua persentase (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) jika dibandingkan dengan beton normal (Hana 2008)

Pengaruh *copper slag* sebagai *cementitious* terhadap kuat tekan beton dalam penelitian Kartini (2009) menggunakan variasi penambahan *copper slag* 0%, 10%, 20%, dan 30% dari kebutuhan semen dengan menggunakan FAS 0,55 untuk beton normal dan FAS 0,35 untuk beton mutu tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *copper slag* dengan *cementitious* dapat memberikan dampak yang positif pada beton mutu tinggi, yaitu dengan variasi 20% *copper slag* terjadi peningkatan kuat tekan yang optimum (10,48%) dibandingkan beton tanpa menggunakan variasi *copper slag*.

Berdasarkan tektur permukaan yang tajam dan berat jenis yang cukup tinggi ( $3,5 \text{ gr/cm}^3$ –  $3,7 \text{ gr/cm}^3$ ) tentunya *copper slag* juga dapat digunakan dalam campuran pada perkerasan lentur jalan raya. Dalam penelitian ini *copper slag* akan digunakan sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton aspal dengan tipe gradasi III dan gradasi IV. Sebagai pembanding digunakan pasir alam, sehingga dapat diketahui karakteristik Marshall dari beton aspal yang menggunakan *copper slag* dan tanpa *copper slag*. Aspal yang digunakan adalah aspal keras penetrasi 60/70 dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

**2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Perkerasan jalan (*pavement*) didefiniikan sebagai lapisan relatif stabil yang dibangun di atas tanah dasar yang berfungsi untuk menahan dan mendistribusikan beban kendaraan serta sebagai lapisan penutup permukaan. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. (Sukirman 1992).

Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987 menjelaskan bahwa Lapis Aspal Beton (Laston) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas dan pada suhu tertentu.

Agregat dalam campuran aspal sekitar 80%, maka akan sangat mempengaruhi karakteristik dan hasil campuran. Ukuran agregat, gradasi, keawetan, kekokohan, dan bentuk sangat mempengaruhi stabilitas dan tekstur permukaan sangat mempengaruhi adhesi antara agregat dan aspal. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan no.8 (2,38 mm). Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau krikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet, dan bebas dari bahan lain. Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.8 (2,38 mm). Agregat halus harus bersih, kering, kuat, bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang mengganggu serta terdiri dari butir-butir yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan kasar (Kerbs and Walker 1977).

*Copper slag* adalah hasil/ limbah industri peleburan tembaga yang berupa material padat berbentuk agak pipih tetapi runcing/tajam. Komposisi kimia terbesar pada oksida besi (45% - 55%) dan silikat (30% - 38%), berat jenis 3,5-3,7 gr/cm<sup>3</sup>, tidak berbau, dan tidak ditemukan efek membahayakan baik efek jangka pendek, maupun efek jangka panjang.

Syarat-syarat agregat, aspal, dan campuran Laston untuk lalu lintas berat seperti yang tercantum pada Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987.

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan berbutir halus yang lolos ayakan no.30 dimana persentase berat butir yang lolos ayakan no.200 (0,074 mm) minimum 65%, selain itu bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang dapat mengganggu Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu. Persentase agregat *grading* III dan *grading* IV ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas-batas gradasi agregat *grading* III dan IV

Ukuran Ayakan		% Berat Lolos Grading III	% Berat Lolos Grading IV
Inch, #	mm		
1"	25,4	-	-
¾"	19,1		100
½"	12,7	100	80-100
3/8"	9,52	80-100	70-90
# 4	4,76	55-75	50-70
# 8	2,38	35-50	35-50
# 30	0,59	18-29	18-29
# 50	0,279	13-23	13-23
# 100	0,149	8-16	8-16
# 200	0,075	4-10	4-10

Sumber : Petunjuk pelaksanaan lapis aspal beton, SKBI-2.4.26. 1987.

Untuk memperoleh nilai-nilai *density*, VITM, VFWA, stabilitas, *flow* dan *Marshall Quotient* (QM) diperlukan data-data lainnya yaitu sebagai berikut.

Berat jenis aspal (gr/cc).

$$BJ\ Aspal = \frac{\text{Berat aspal}}{\text{volume aspal}} \dots\dots\dots(1)$$

Berat jenis maksimum teoritis. (h)

$$h = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ \text{ aspal}}} \dots\dots\dots(2)$$

Nilai-nilai *density*, VFWA, VITM, stabilitas, *flow* dan QM dapat dihitung dengan data-data seperti berikut.

Density.

$$g = c/f \dots\dots\dots(3)$$

$$f = d - e \dots\dots\dots(4)$$

dengan  $c$  = berat kering sebelum direndam air (gram),  $d$  = berat dalam kondisi jenuh (gram),  $e$  = berat dalam air (gram),  $f$  = volume benda uji (cc),  $g$  = berat volume benda uji (gram/cc)

VFWA (Void Filled With Asphalt)

$$m = 100 \times (i/l) \dots\dots\dots(5)$$

$$b = \frac{a}{(100 + a)} * 100 \dots\dots\dots(6)$$

$$i = \frac{b * g}{BJ \text{ aspal}} \dots\dots\dots(7)$$

$$j = \frac{(100 - b) * g}{BJ \text{ agregat}} \dots\dots\dots(8)$$

$$l = 100 - j \dots\dots\dots(9)$$

dengan  $a$  = persentase aspal terhadap agregat,  $b$  = persentase aspal dalam campuran,  $g$  = berat volume benda uji (gram/cc),  $l$  = VMA = persen rongga terhadap agregat,  $m$  = VFWA = volume rongga terisi aspal (%)

VITM (Void In The Mix)

$$n = 100 - (100g/h) \dots\dots\dots(10)$$

dengan  $h$  = berat jenis maksimum teoritis,  $g$  = berat volume benda uji (gram/cc)

. Stabilitas

$$q = p \times \text{koreksi tebal benda uji} \dots\dots\dots(11)$$

dengan  $p$  =  $o \times$  kalibrasi proving ring,  $o$  = nilai pembacaan arloji stabilitas

. Flow

Nilai *flow* langsung terbaca pada arloji *flow* pada saat *Marshall Test*, namun masih dalam satuan inch sehingga harus dikonversi dalam satuan millimeter.

Marshall Quotient (QM)

$$QM = \frac{q}{r} \dots\dots\dots(12)$$

dengan  $q$  = nilai stabilitas (kg),  $r$  = nilai *flow* (mm)

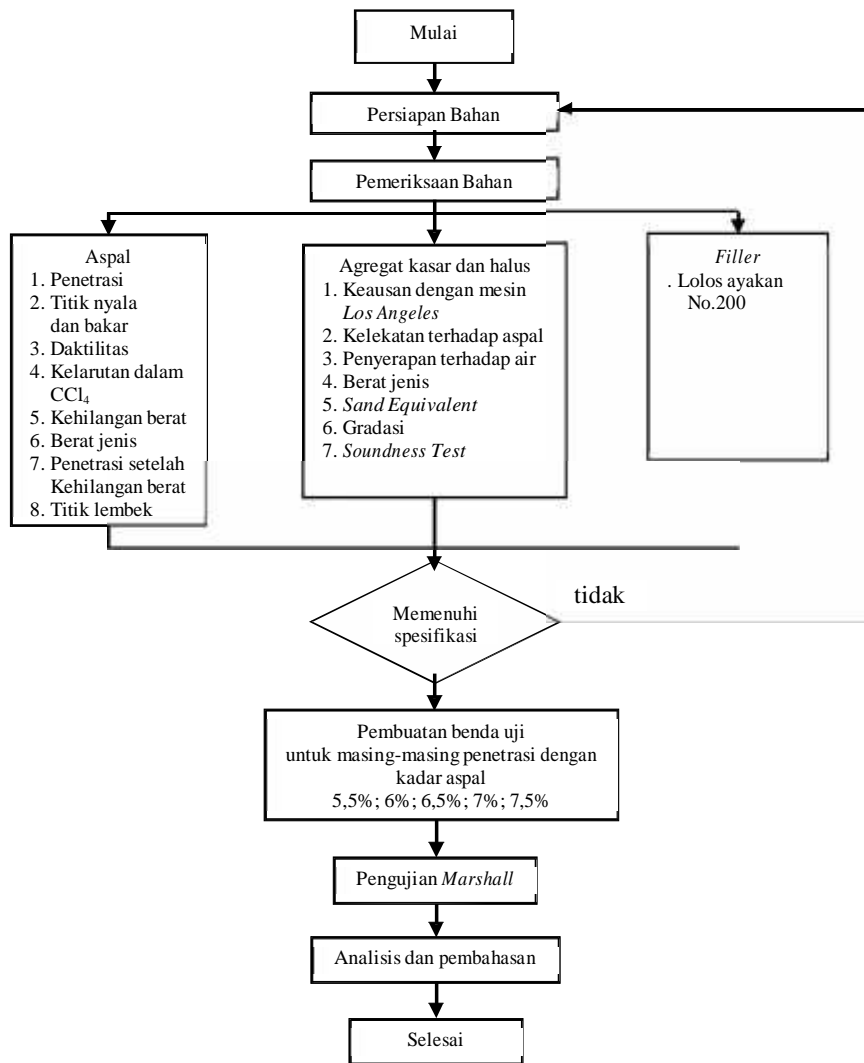
### 3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Marshall dengan melakukan percobaan di laboratorium yang bertujuan untuk menyelidiki apakah *copper slag* dapat digunakan sebagai agregat halus pada beton aspal.

Berat total agregat yang diperlukan untuk membuat satu benda uji/briket adalah 1200 gram, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Agregat kasar dan agregat halus untuk pembanding berasal dari PT. Perwita Karya, sedangkan aspal yang digunakan adalah penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Benda uji untuk masing-masing campuran dibuat duplo dengan 5 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%, sehingga tiap tipe gradasi memerlukan 10 benda uji. Jumlah total benda uji untuk 2 macam tipe gradasi dan 2 macam agregat adalah 40 buah.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Campuran lapis aspal beton yang dibuat dalam penelitian ini dikondisikan untuk lalu lintas berat.

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk membuat suatu campuran beton aspal, bahan-bahan susun yang akan digunakan harus diperiksa terlebih dahulu apabila hasil uji tidak memenuhi syarat, maka bahan tersebut harus diganti. Hasil pemeriksaan bahan susun yang berupa agregat kasar, agregat halus, dan aspal dapat dilihat pada tabel 2 dan hasil pengujian Marshall Dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Persyaratan dan hasil pemeriksaan bahan

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
<b>Agregat Kasar</b>					
1.	Abrasi dengan mesin Los Angeles	Maks 40	36,38	%	MEMENUHI
2.	Soundness terhadap larutan $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Maks 7	0,99	%	MEMENUHI
3.	Berat jenis <i>bulk</i>	Min 2,5	2,8	gr/cc	MEMENUHI
4.	Kelekatan terhadap aspal	Min 95	95	%	MEMENUHI
5.	Penyerapan terhadap air	Maks 3	0,0273	%	MEMENUHI
<b>Agregat Halus</b>					
1.	Nilai <i>Sand Equivalent</i>	Min 50	Alami 82,222 CS 100	%	MEMENUHI
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	Min 2,5	2,819 3,88	gr/cc	MEMENUHI
3.	Penyerapan terhadap air	Maks 3	0,28 0,80	%	MEMENUHI
<b>Aspal</b>					
1.	Penetrasi aspal (25°C,5 detik)	Min 60, Maks 79	70,11	0,1 mm	MEMENUHI
2.	Titik lembek ( <i>ring ball</i> )	Min 48, Maks 58	49,5	°C	MEMENUHI

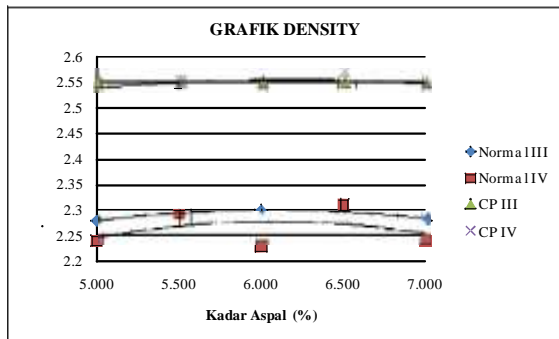
3.	Titik nyala dan titik bakar	Min 200	323	°C	<b>MEMENUHI</b>
4.	Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	Maks 0.8	0,1805	% berat	<b>MEMENUHI</b>
5.	Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub>	Min 99	99	% berat	<b>MEMENUHI</b>
6.	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	Min 100	100	cm	<b>MEMENUHI</b>
7.	Berat jenis aspal (25°C)	Min 1	1.0926	-	<b>MEMENUHI</b>
8.	Penetrasi setelah kehilangan berat	Min 54	77,21	% berat	<b>MEMENUHI</b>

Tabel 3. Hasil pengujian Marshall

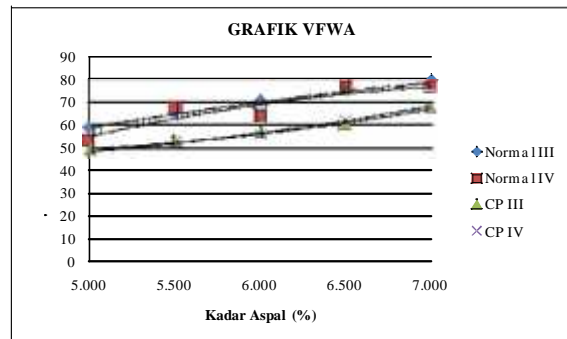
Karakteristik	Kadar Marshall	Variasi Gradasi			
		Aspal	III Normal	IV Normal	III CP
Density (%)	5%	2.28	2.24	2.55	2.54
	5.5%	2.29	2.29	2.55	2.55
	6%	2.30	2.23	2.55	2.54
	6.5%	2.30	2.31	2.55	2.57
	7%	2.28	2.24	2.55	2.54
VFWA (%) ( 65)	5%	58.96	53.59	49.14	48.04
	5.5%	65.35	67.97	52.50	52.43
	6%	70.87	64.29	56.64	55.94
	6.5%	74.94	76.67	60.16	62.41
	7%	79.76	77.38	67.84	68.71
VITM (%) (3,0 – 5,0)	5%	6,62	8,18	11,15	11,61
	5.5%	5,02	4,39	10,17	10,18
	6%	3,62	6,43	8,79	9,06
	6.5%	2,49	2,11	7,62	6,82
	7%	1,17	1,71	5,00	4,72

Karakteristik	Kadar Marshall	Variasi Gradasi			
		Aspal	III Normal	IV Normal	III CP
Stabilitas (kg) ( 550)	5%	1096,41	1077,12	1051,33	840,67
	5.5%	1016,73	1194,07	832,10	788,26
	6%	1011,02	1114,70	892,26	906,45
	6.5%	957,59	1192,34	795,26	892,52
	7%	1030,29	968,28	713,31	825,34
Flow (mm) (2,0 – 4,0)	5%	3.31	3.44	2.85	2.38
	5.5%	3.03	2.65	3.35	3.05
	6%	3.19	3.46	3.10	3.39
	6.5%	2.66	3.29	2.95	3.00
	7%	3.27	3.72	3.20	2.80
QM (kg/mm) (200-350)	5%	331,24	313,57	368,89	354,36
	5.5%	335,55	451,44	248,39	258,45
	6%	316,93	322,63	287,83	267,39
	6.5%	360,67	362,97	269,58	297,51
	7%	315,07	260,64	222,91	294,76

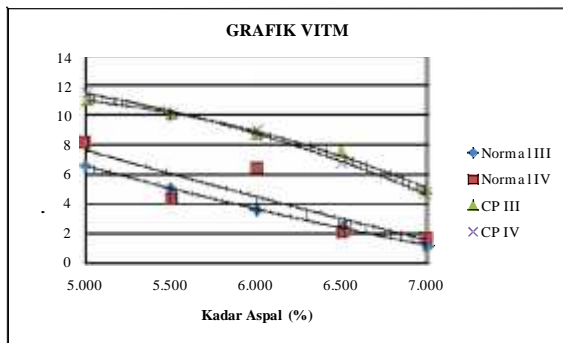
\*yang diarsir memenuhi persyaratan DPU 1987 dan Binamarga 1983



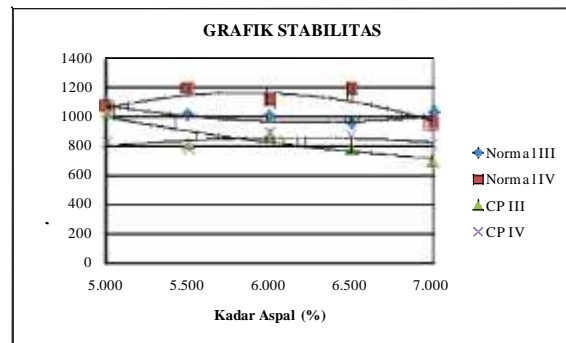
Gambar 2. Hubungan kadar aspal dengan nilai density



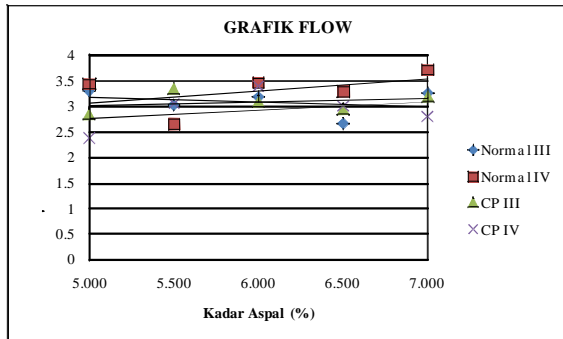
Gambar 3. Hubungan kadar aspal dengan nilai VFWA



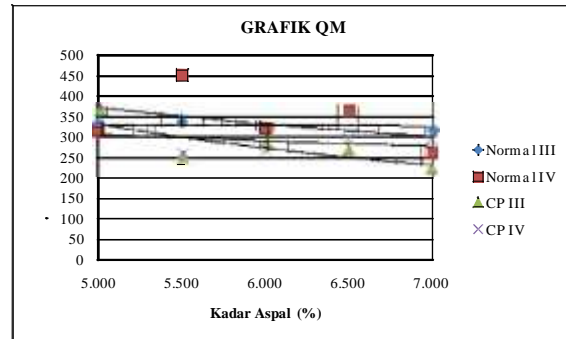
Gambar 4. Hubungan kadar aspal dengan nilai VITM



Gambar 5. Hubungan kadar aspal dengan nilai stabilitas



Gambar 6. Hubungan kadar aspal dengan nilai flow



Gambar 7. Hubungan kadar aspal dengan nilai Marshall

Berat jenis *copper slag* yang jauh lebih tinggi dari agregat alami membuat massa campuran meningkat, sehingga derajat kepadatannya menjadi lebih tinggi. Sesuai dengan hasil penelitian, nilai *density* beton aspal normal lebih kecil dari nilai *density* beton aspal dengan *copper slag*.

Bentuk *copper slag* yang pipih dengan diameter yang lebih kecil dari agregat alami menyebabkan aspal sulit mengisi rongga-rongga antar agregat, akibatnya nilai VFWA beton aspal dengan *copper slag* jauh lebih kecil dari beton aspal normal dan nilai VITMnya sangat besar. Nilai VITM yang tinggi mengakibatkan perkerasan kurang kedap air. Penambahan kadar aspal pada campuran memberikan respon yang baik pada peningkatan nilai VFWA dan penurunan nilai VITM. Pada campuran dengan kadar aspal 7%, nilai VFWA dan VITM dapat memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Sifat *copper slag* yang *hidrophilic* menyebabkan aspal kurang dapat melekat dengan baik, sehingga ikatan aspal dengan agregat menjadi kurang kuat, akibatnya kemampuan perkerasan lentur yang menggunakan *copper slag* kurang mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja. Hasil penelitian menunjukkan semua nilai stabilitas memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Kurang baiknya lekatan aspal pada *copper slag* menyebabkan tebal film aspal pada beton aspal dengan *copper slag* lebih kecil, sehingga viskositas campuran menjadi tinggi. Dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran dapat menurunkan viskositas campuran, sehingga dapat meningkatkan nilai *flow*. Bentuk dan sifat *copper slag* memberikan pengaruh positif terhadap nilai *flow*, sehingga semua nilai *flow* pada penelitian ini memenuhi syarat, demikian juga untuk beton aspal normal.

Tingginya nilai stabilitas dan rendahnya nilai *flow* akan mengurangi fleksibilitas suatu perkerasan. Fleksibilitas beton aspal dengan *copper slag* lebih baik daripada beton aspal normal, karena hasilnya mendekati nilai rata-rata syarat yang ditentukan, sedangkan beton aspal dengan agregat alami cenderung mendekati batas maksimumnya. Hampir semua nilai Marshall beton aspal dengan *copper slag* memenuhi syarat, kecuali pada campuran dengan kadar aspal 5%, sedangkan pada beton aspal dengan agregat alami grading III yang tidak memenuhi syarat adalah campuran dengan kadar aspal 6,5% dan grading IV pada kadar aspal 5,5% dan 6,5%.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa pada semua variasi campuran nilai stabilitas dan *flow* memenuhi persyaratan. Bila dibandingkan dengan beton normal, nilai stabilitas dan *flow*nya memang lebih kecil, tetapi nilai-nilai ini menghasilkan nilai Marshall yang jauh lebih baik daripada beton aspal yang menggunakan agregat alami baik grading III maupun IV. Hal ini menunjukkan beton aspal dengan agregat halus *copper slag* memiliki kekuatan dan kemampuan resistansi terhadap deformasi dan defleksi yang lebih baik daripada beton aspal dengan agregat

alami. Tapi karena kerapatan campurannya kurang baik, maka beton aspal yang menggunakan agregat halus *copper slag* membutuhkan kadar aspal yang lebih banyak daripada beton aspal dengan agregat alami. *Copper slag* dapat digunakan sebagai agregat halus pada perkerasan beton aspal grading III dan Grading IV pada campuran dengan kadar aspal 7%.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim (2001), Petunjuk Praktikum Rekayasa Jalan Raya, Laboratorium Rekayasa Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (1983), Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, Yayasan badan penerbit PU, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (1987), Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26, Yayasan badan penerbit PU, Jakarta.
- Hana, Maria Asunta dan Siswadi (2008) “Studi Kuat Tekan Dan Modulu Elastisitas Beton Dengan Agregat Halus Copper Slag”, Konferensi Nasional Teknik Sipil 2,505-515
- Kreb, R.D. and Walker, R.D (1971) Highway Material, Mc Graw Hill, Book Company Virginia, Polytecnic Intitute and State University, USA.
- Roberts, FL, et al, 1991, Hot Mix Asphalt Materials, Mixtures Design and Construction, Napa Education Foundation, Lanham, Maryland.
- Sukirman, S., 1992, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung.
- Sukirman, S., 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Penerbit Granit, Bandung.
- Sulaksono, S., 2001, Rekayasa Jalan Raya, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- The Asphalt Institute. (1993). Asphalt Technology and Construction Practices, Maryland, USA