

PENGARUH PENGGUNAAN *BOTTOM ASH* TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON

Indriani Santoso, Salil Kumar Roy

Dosen Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

Patrick, Andarias

Alumni Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Pemakaian batu bara sebagai sumber energi menghasilkan residu berupa *bottom ash* yang menimbulkan pencemaran lingkungan. Penggunaan *bottom ash* sebagai material pekerasan jalan adalah salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti efek penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas, kelelahan, rongga udara, rongga didalam agregat dan *Marshall quotient* dari campuran aspal beton.

Penelitian dilakukan dengan menguji efek pemakaian *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus sebesar sepuluh sampai 100%. Dari penelitian ditemukan bahwa persentase terbaik penggantian agregat halus dengan *bottom ash* adalah sepuluh persen. Penggantian ini memenuhi semua persyaratan yang ditentukan kecuali persyaratan rongga udara. Sebuah bahan additif (*chemcrete*) digunakan untuk memperbaiki rongga udara. Penggunaan *chemcrete* dapat meningkatkan nilai stabilitas serta memperbaiki nilai rongga udara pada campuran aspal beton.

Kata kunci: *Bottom ash*, aspal beton, agregat halus, stabilitas, kelelahan, rongga udara, rongga didalam agregat, *Marshall Quotient*.

ABSTRACT

The use of coal as source of energy has produce bottom ashes, which has become a big source of pollution. One of the alternatives to solve this problem is by using this material in road pavement. The purpose of this research is to find the effect of the use bottom ash to replace fine aggregate, toward the stability, flow, air void, void in mineral aggregate and Marshall Quotient of asphalt concrete.

In this research the effect of replacing ten to 100 % fine aggregate with bottom ash is evaluated. It is found out that the best result could be obtained by replacing the fine aggregate by ten percent bottom ash. This replacement could fulfill all requirements except the air void. To improve the air void, an additive (chemcrete) has been added. The use of chemcrete has increase the stability and improves the air void of asphalt concrete.

Keywords: *Bottom Ash, asphalt concrete (AC), stability, flow, air void, void in mineral aggregate, Marshall Quotient.*

PENDAHULUAN

Pemakaian batu bara sebagai sumber energi pada pembangkit tenaga listrik ataupun industri lainnya cukup besar. Penggunaan batu bara tersebut menghasilkan residu sebagai hasil pembakaran berupa *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar) [1].

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 November 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 6 Nomor 1 Maret 2004.

Besarnya jumlah residu tersebut akan menimbulkan masalah terutama dalam proses pembuangannya karena dapat mencemari lingkungan sekitar serta membutuhkan fasilitas pembuangan yang relatif mahal. Untuk itu residu tersebut mulai diolah sebagai bahan bangunan misalnya sebagai *fly ash cement*, bahan campuran batako, sebagai bahan urugan, dan dapat juga dipakai sebagai material pekerasan jalan. [2]

Penggunaan *bottom ash* pada perkerasan jalan telah diteliti di beberapa negara termasuk Amerika Serikat dan menunjukkan hasil yang memuaskan [3]. Sedangkan perilaku *bottom ash* sebagai material pada campuran pada aspal beton di Indonesia belum diteliti. Hal ini mendorong diadakannya penelitian tentang perilaku *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal beton.

Pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Pengujian campuran aspal beton tanpa menggunakan *bottom ash*.
2. Pengujian campuran aspal beton dengan menggunakan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus.
3. Pengujian campuran aspal beton dengan menggunakan bahan tambahan *chemcrete*.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kekuatan (*stability*), kelelahan plastis (*flow*), *air void*, *void in mineral aggregate* dan *Marshall quotient* campuran aspal beton akibat pemakaian *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus.
2. Mengetahui kadar *bottom ash* yang dapat menghasilkan kekuatan (*stability*), kelelahan plastis (*flow*), *air void*, *void in mineral aggregate* (*VMA*), *Marshall quotient* yang optimum pada campuran aspal beton dan pemberian bahan tambahan *chemcrete*.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bottom ash

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan [1]

Bottom ash dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya yaitu *dry bottom boiler* yang menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* serta *cyclone boiler* yang menghasilkan *wet bottom ash (boiler slag)*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya [1,4]. Beberapa sifat fisis, kimia, dan mekanis

yang penting dari *bottom ash* adalah sebagai berikut:

Sifat fisik

Sifat fisik *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik khas dari *bottom ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0-10%)
<i>Specific gravity</i>	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
<i>Dry Unit Weight</i>	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000 [1]

Sifat kimia

Komposisi kimia dari *bottom ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain [1,5].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton, didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari *bottom ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *bottom ash*. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite (iron sulfide)* yang besar [1].

Sifat mekanis

Besarnya nilai kehilangan pada test keausan dengan Sodium Sulfat menunjukkan adanya kandungan *pyrite* yang ditunjukkan dari kandungan sulfat terlarut yang berlebihan dalam *bottom ash*. *Pyrite* yang ada dalam *bottom ash* harus dibuang dengan elektromagnet sebelum digunakan, sebab *pyrite* merupakan partikel yang ekspansif dan apabila terkena air dalam waktu lama akan mempercepat kerusakan jalan [1,3]. Adapun sifat mekanis dari *dry* dan *wet bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat mekanis dari *dry* dan *wet bottom ash*

Sifat mekanis	<i>Dry bottom ash</i>	<i>Boiler slag</i>
Max. Dry Density	1210 – 1620 kg/m ³	1330 – 1650 kg/m ³
Kelembaban optimum	12–24% (umumnya <20)	8 – 20%
Test Abrasi LA (% kehilangan)	30 – 50	24 – 48
Sodium Sulfat Soundness test (% kehilangan)	1,5 – 10	1 – 9
Kuat geser (sudut geser)	38 – 42° 38 – 45° (ukuran butir < 9,5 mm)	38 – 42° 38 – 46° (ukuran butir < 9,5 mm)
CBR (%)	40 – 70	40 – 70
Koefisien permeabilitas	10 ⁻² – 10 ⁻³ cm/det	10 ⁻² – 10 ⁻³ cm/det
<i>Friable</i> partikel (kerak batu bara)	Ada	Tidak ada

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000 [1]

Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu adanya *friable* partikel (mudah pecah), umumnya pada *dry bottom ash* yaitu kerak batu bara yang berbentuk seperti kembang (*pop-corn* partikel). Partikel ini mudah hancur akibat pemadatan dan sangat berpori sehingga akan banyak menyerap aspal, dimana hal ini akan menyebabkan meningkatnya kadar aspal optimum yang diperlukan [1,3].

Dry dan *wet bottom ash* telah digunakan sebagai agregat halus pada perkerasan jalan selama kurang lebih 25 tahun terakhir di Amerika Serikat dan menunjukkan hasil yang memuaskan.

Salah satu contoh pemakaian *dry bottom ash* pada perkerasan lentur yaitu di West Virginia, Amerika Serikat, dimana pemakaian *dry bottom ash* pada campuran aspal emulsi dingin sebesar enam sampai tujuh persen terhadap berat aspal emulsi, pada jalan kelas dua, dengan volume lalu lintas sedang, menunjukkan hasil yang memuaskan sepanjang tahun [3].

Pada pemakaian *dry bottom ash* untuk lapis permukaan jalan aspal campuran panas di West Virginia, menunjukkan bahwa kandungan *pyrite* pada *dry bottom ash* menimbulkan noda merah pada permukaan jalan dan menimbulkan lubang keropos pada permukaan jalan [3].

Selain itu Ghafoori mengadakan penelitian mengenai penggunaan *dry bottom ash* sebagai agregat halus untuk perkerasan kaku di Southern Illinois University, dan penelitian tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan dan impermeability beton bila dibandingkan dengan pemakaian pasir [6,7].

Pemakaian *wet bottom ash (boiler slag)* di Amerika Serikat lebih sering digunakan pada lapisan permukaan perkerasan lentur karena terbukti dapat meningkatkan kekesatan (*skid resistance*). *Wet bottom ash* mempunyai daya lekat (*affinity*) yang baik dengan aspal serta memiliki permukaan yang bebas debu, yang dapat meningkatkan daya lekat agregat-aspal dan daya tahan terhadap pengelupasan aspal dari agregat (*stripping*). Selain itu *wet bottom ash* memiliki warna hitam yang tidak dapat memudar akibat sinar matahari atau cuaca sehingga dapat mempertahankan warna hitam aspal, yang dapat mengurangi pantulan sinar matahari dan mempercepat mencairnya salju [3].

Sebagai contoh yaitu di West Virginia, Amerika Serikat, telah diperoleh bahwa pemakaian 50% *wet bottom ash*, 39% pasir sungai, tiga persen *fly ash* dan delapan persen aspal untuk pelapis kembali (*resurface*) pada lapisan permukaan perkerasan jalan aspal ternyata mampu memenuhi umur rencana sepuluh tahun, dengan hanya sedikit perubahan pada permukaannya, walaupun jalan tersebut dilalui oleh lalu lintas kendaraan berat. Sedangkan di Texas Selatan, pemakaian *wet bottom ash* sebanyak 75% dari berat *fine aggregate* dicampur dengan 25% *limestone* (batu kapur) dengan kadar aspal enam sampai tujuh persen sebagai pelapis ulang pada perkerasan jalan dilaporkan mempertahankan permukaan jalan tetap berada dalam keadaan yang baik, tanpa terjadi *shoving*, *raveling*, dan mempertahankan warna hitam jalan dan kekesatan jalan, sekalipun dilalui oleh kendaraan berat [3].

Aspal Beton

Aspal beton adalah aspal campuran panas yang bergradasi tertutup (bergradasi menerus). Gradasi tertutup yaitu suatu komposisi yang menunjukkan pembagian butir yang merata mulai dari ukuran terbesar sampai terkecil, dengan material penyusunnya yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal.

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya, baik merupakan hasil alam maupun hasil buatan. Agregat terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Aspal adalah campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat dan pengisi ruang kosong antara rongga batuan. *Additive* adalah bahan tambahan yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan campuran. Pemakaian *additive* bukan keharusan,

dan digunakan untuk mencapai kekuatan campuran aspal beton yang kita inginkan [8].

Aggregate kasar, halus, *filler* dan aspal dicampur dalam keadaan panas, lalu dibawa kelokasi dan dihampar dengan alat penghampar sehingga didapat lapisan yang seragam dan merata, lalu dipadatkan dengan mesin pemadat dan akhirnya diperoleh lapisan padat aspal beton [8].

Campuran aspal beton digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan suatu lapisan permukaan jalan (*wearing course*) yang kedap air dan dapat memberi ketahanan terhadap aus pada jalan dengan beban lalu lintas yang tinggi, dan juga berfungsi sebagai lapis antara pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung terhadap beban lalu lintas di atasnya [8].

Karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton adalah Stabilitas, Kelelehan, Stabilitas/ Kelelehan, Persen Rongga dalam campuran (*Void in Mineral Aggregate, VMA*), Persen Rongga terisi aspal (Air void) dan Indeks perendaman. Adapun nilai persyaratan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persyaratan campuran lapis aspal beton

Sifat Campuran	LL Berat	
	Min	Max
Stabilitas (kg)	750	
Kelelehan (mm)	2.0	4.0
Stabilitas / Kelelehan (kg/mm)	200	350
% Rongga dalam campuran	3	5
% Rongga terisi aspal	75	82
Indeks Perendaman	75	

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya [8]

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berupa percobaan laboratorium, dimana dibuat tiga benda uji untuk setiap campuran, diameter benda uji adalah 10 cm (4"), dengan kebutuhan material sebanyak ± 1200 gram. Benda uji tersebut menggunakan batu pecah berukuran 10–15mm (Fraksi 1), 5–10mm (Fraksi 2), 0-5mm (Fraksi 3), pasir (Fraksi 4), aspal, dan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus. Alat yang digunakan pada percobaan adalah kelengkapan alat uji Marshall beserta kelengkapan alat uji agregat.

Penelitian laboratorium meliputi:

1. Pemeriksaan agregat.
2. Perencanaan dan pembuatan komposisi campuran agregat dengan aspal (*hotmix design*) untuk mendapatkan kadar aspal optimum.
3. Pemeriksaan *bottom ash*
4. Pembuatan benda uji campuran aspal beton tipe XI [8], dengan penambahan *bottom ash* dalam jumlah tertentu terhadap berat agregat halus.
5. Pembuatan benda uji campuran aspal beton tipe XI [8] dengan penambahan *bottom ash* dan bahan tambahan chemcrete.
6. Pengujian dengan alat Marshall.

Agregat berupa batu pecah diambil dari PT. Batu Alam, Gempol, Jatim. Pasir berasal dari Mojokerto, sedangkan aspal yang digunakan adalah aspal minyak Pertamina Cilacap penetrasi 60-70. *Bottom Ash* yang digunakan diambil dari PT. Suparma, Surabaya.

Penelitian kimia dari *Bottom ash* dilakukan dilaboratorium Balai Penelitian Pengembangan Industri Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4 dan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis pada Laboratorium Bahan Jalan Universitas Kristen Petra, Surabaya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil analisis *bottom ash*

Senyawa kimia	Persentase kadar (%)
SiO ₂	26.98
Al ₂ O ₃	39.40
Fe ₂ O ₃	10.62
CaO	0.63
MgO	0.56
Na ₂ O	0.15
SO ₃	0.59

Sumber: Balai Penelitian Pengembangan Industri Surabaya

Hasil pengujian Marshall yaitu *stability*, *flow*, *air void*, *void in mineral aggregate*, dan *Marshall quotient* yang diperoleh dari sampel tanpa *bottom ash*, dibandingkan dengan sampel menggunakan *bottom ash* serta sampel menggunakan *bottom ash* yang diberi chemcrete.

Dari hasil perbandingan dapat dilihat akibat dari penambahan *bottom ash* pada campuran aspal beton tipe XI. Selain itu dapat diketahui penggantian *bottom ash* terhadap fraksi agregat halus yang mana yang memberikan hasil terbaik, serta berapa persentase dari *bottom ash* terhadap campuran yang memberi hasil Marshall campuran yang terbaik.

Tabel 5. Hasil uji fisik dan mekanis *bottom ash*

Sifat fisis dan mekanis <i>Bottom Ash</i>	
Bentuk	Berbutir kecil / granular
Warna	Abu-abu gelap
Tampilan	Seperti pasir halus. Sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	¾ (100%)
	3/8 (100%)
	No.4 (95.7%)
	No.8 (83.7%)
	No.30 (56.9%)
No. 50 (42.6%)	
No.200 (18.2%)	
Penyerapan	1.98 %
Berat jenis semu	2.140 %
SSD	2.093 %
Bulk spesific gravity	2.053 %
Soundness	4.33 %
Kerak (<i>friable particle</i>)	Ada

Sumber: Penelitian Laboratorium Bahan Jalan UK Petra

ANALISA HASIL PENELITIAN

Untuk membuat campuran aspal beton dilakukan analisa terhadap agregat dan aspal sesuai persyaratan untuk campuran aspal beton. Komposisi campuran menggunakan agregat kasar (F1) dengan ukuran butir 10-15 mm sebesar 27 % dan agregat kasar (F2) dengan ukuran butir 5-10 mm sebesar 30%. Agregat halus (F3) dengan ukuran butir 0-5 mm sebesar 21% dan pasir (F4) sebesar 22% Kemudian ditentukan persentase kadar aspal optimum yaitu 7.5%. Dengan kadar aspal optimum kemudian dibuat sampel Marshall dimana agregat halus (F3) dan F4 digantikan *bottom ash* dengan persentase tertentu.

Penggantian *aggregate* halus F3 dengan *Bottom Ash*

Penggantian F3 dengan *bottom ash* dilakukan sebesar sepuluh sampai dengan 100 persen terhadap persen F3 (21%). Hasil uji dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian Marshall untuk F3

No.	% Bottom ash to F3	AIR VOID	VMA	STABILITY	FLOW	MQ
		%	%	(kg)	(mm)	(kN/mm)
1	100	17.64	29.24	1002.84	4.03	2.48
2	90	16.77	28.26	951.35	3.77	2.5
3	80	15.53	27.24	1139.81	3.73	3.0
4	70	13.6	25.63	912.94	3.47	2.61
5	60	12.71	24.89	960.27	4.37	2.22
6	50	12.39	24.67	1129.85	4.23	2.63
7	40	11.06	23.70	1108.22	3.97	2.84
8	30	9.72	22.60	1086.60	3.72	3.05
9	20	8.39	21.50	1064.97	3.46	3.26
10	10	7.05	20.25	1043.34	3.20	3.47

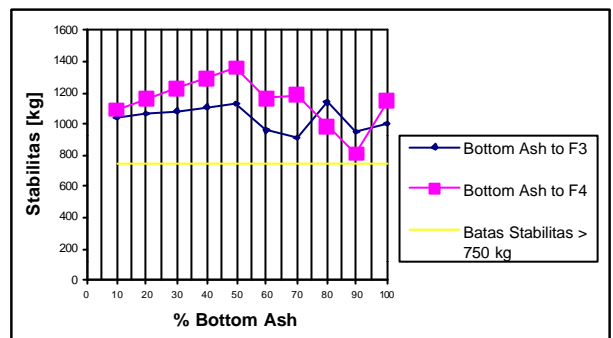
Penggantian F4 (pasir) dengan *Bottom Ash*

Penggantian F4 dengan *bottom ash* dilakukan sebesar sepuluh sampai dengan 100 persen terhadap persen F4 (22%). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian Marshall untuk F4

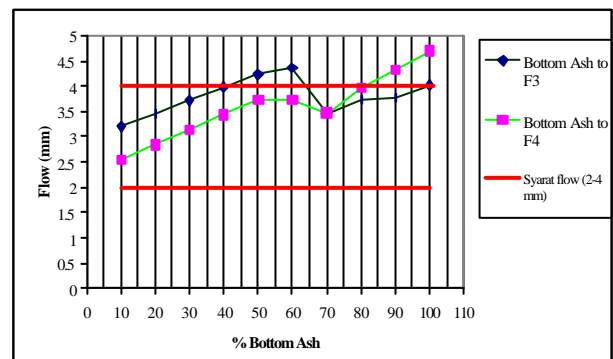
No.	% Bottom ash to F4	AIR VOID	VMA	STABILITY	FLOW	MQ
		%	%	(kg)	(mm)	(kN/mm)
1	100	16.57	28.13	1147.66	4.7	2.41
2	90	15.91	27.60	808.85	4.33	2.01
3	80	15.82	27.56	986.2	3.97	2.42
4	70	14.21	26.21	1185.66	3.47	3.35
5	60	13.31	25.47	1164.38	3.73	3.09
6	50	11.55	23.99	1361.77	3.73	3.73
7	40	10.33	22.50	1294.55	3.44	3.88
8	30	9.1	21.70	1227.53	3.14	4.02
9	20	7.88	20.60	1160.41	2.85	4.17
10	10	6.65	19.92	1093.29	2.55	4.31

Hasil-hasil pengujian Marshall untuk penggantian agregat halus F3 dan F4 dengan *bottom ash* dapat dilihat pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 5.



Gambar 1. Hasil uji stabilitas

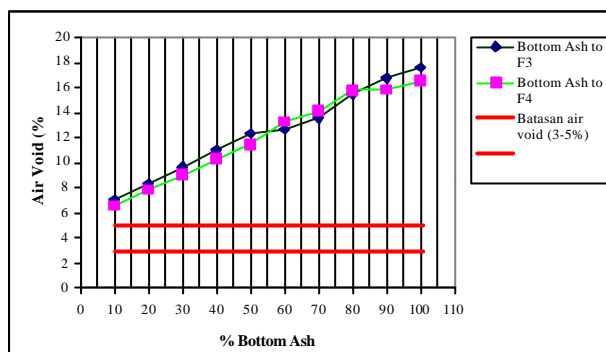
Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas memenuhi batas > 750 kg untuk penggantian *bottom ash* terhadap F3 maupun F4.



Gambar 2. Hasil uji kelelahan (flow)

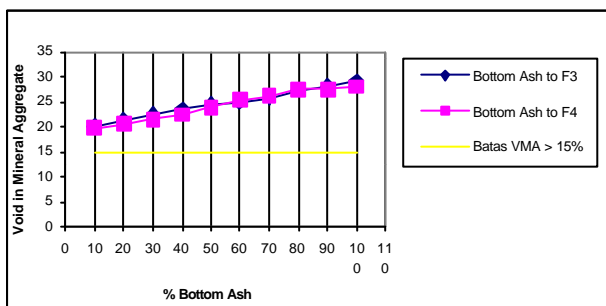
Gambar 2 menunjukkan bahwa penggunaan *bottom ash* terhadap F3 sebesar 10 %-40 % dan

70 -100 % memenuhi batasan *flow* 2-4 mm. Untuk penggunaan *bottom ash* terhadap F4 sebesar 10%-80 % memenuhi batasan nilai *flow* yang diijinkan.



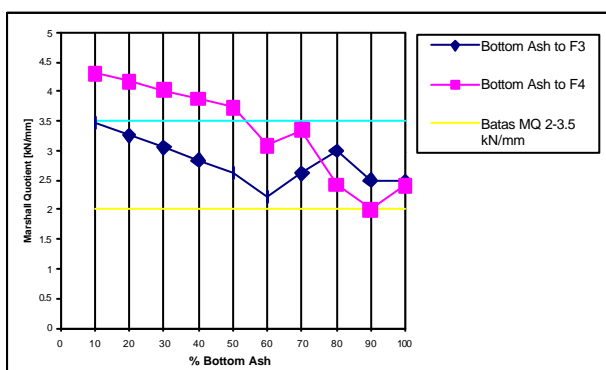
Gambar 3. Hasil uji air void

Gambar 3 menunjukkan bahwa persyaratan terhadap persentase rongga udara pada penelitian ini tidak dipenuhi karena rongga udara yang dihasilkan terlalu besar.



Gambar 4. Hasil uji Void in Mineral Aggregate

Gambar 4 menunjukkan bahwa persentase rongga dalam agregat (*vma*) yang dihasilkan memenuhi nilai yang disyaratkan yaitu minimum 15 %.



Gambar 5. Hasil uji Marshall Quotient.

Gambar 5 menunjukkan bahwa semua nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan pada penggantian *bottom ash* terhadap F3 memenuhi

persyaratan yang ada. Pada penggantian *bottom ash* terhadap F4 sebesar 10-50 %, nilai *Marshall Quotient* tidak memenuhi persyaratan.

Penambahan bahan additive Chemcrete

Pada penelitian ini digunakan *additive (chemcrete)* sebesar tiga persen dari berat aspal. Penambahan *chemcrete* dilakukan pada variasi penggantian F3 dengan *bottom ash* sebanyak sepuluh persen, dan penggantian F4 dengan *bottom ash* sebanyak sepuluh persen. Hal ini disebabkan karena penggantian sepuluh persen *bottom ash* terhadap F3 menghasilkan nilai *air void* yang paling mendekati batas atas *air void* sebesar lima persen. Demikian juga untuk penggantian sepuluh persen *bottom ash* terhadap F4.

Hasil penelitian kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya baik yang tanpa menggunakan *bottom ash* maupun dengan sampel yang menggunakan *bottom ash* untuk mengganti F3 dan F4. Hasil uji Marshall pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil uji Marshall untuk 5 variasi

No	Keterangan	Aspal (%)	Chemcrete (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Air Void (%)	VMA (%)	MQ (kN/mm)
1	Tanpa Bottom Ash	7.50	0	1098.90	3.29	3.00	16.64	3.30
2	10% Bottom Ash to F3	7.50	0	1043.34	3.20	7.05	20.25	3.47
3	10% Bottom Ash to F4	7.50	0	1093.29	2.55	6.65	19.92	4.31
4	10% Bottom Ash to F3	7.50	3	1452.60	3.57	5.77	19.16	4.32
5	10% Bottom Ash to F4	7.50	3	1644.73	3.43	5.03	18.53	4.34

KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggantian *bottom ash* terhadap F3 sebesar sepuluh sampai dengan 100 persen menghasilkan nilai stabilitas, void in mineral aggregate dan marshall quotient yang memenuhi persyaratan lapis aspal beton untuk lalu lintas berat. Nilai *flow* yang dihasilkan juga memenuhi persyaratan, kecuali pada penggantian F3 dengan *bottom ash* sebesar 50% dan 60%. Nilai persentase *air void* 7,05%-17,64%, sedangkan persyaratan adalah 3%-5%. Pada penggantian sepuluh persen *bottom ash terhadap F3*, diperoleh nilai *air void* yang paling mendekati persyaratan yaitu 7,05 %.
2. Penggantian *bottom ash* terhadap F4 sebesar sepuluh sampai dengan 100 persen menghasilkan nilai stabilitas dan void in mineral aggregate yang memenuhi persyaratan lapis

- aspal beton untuk lalu lintas berat. Nilai flow yang dihasilkan memenuhi persyaratan, kecuali pada penggunaan *bottom ash* 90% dan 100%. Nilai persentase *air void* 6,65%-16,57%, sedangkan persyaratan adalah 3%-5%. Nilai *Marshall Quotient* kurang memenuhi spesifikasi pada penggunaan *bottom ash* sepuluh sampai dengan 50 persen. Pada penggantian sepuluh persen *bottom ash* terhadap F4 diperoleh nilai *air void* yang paling mendekati persyaratan yaitu sebesar 6,65 %.
3. Penambahan *chemcrete* pada campuran dengan *bottom ash* meningkatkan nilai stabilitas, memperbaiki nilai *flow* serta persentase *air void*. Penggunaan *chemcrete* pada campuran dengan penggantian *bottom ash* sebesar sepuluh persen terhadap F4 memberikan hasil yang lebih baik daripada penggantian *bottom ash* sebesar sepuluh persen terhadap F3. Campuran dengan penggantian *bottom ash* terhadap F4 sebesar sepuluh persen yang diberi *chemcrete* menghasilkan nilai stabilitas yang meningkat sebesar 1644,73 kg dan nilai persentase *air void* yang menurun yaitu sebesar 5,03%.
 8. Departemen Pekerjaan Umum, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) untuk Jalan Raya/SKBI-2.4.26.1987*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta, 1987.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description*, [<http://www.cedar.at/mailarchives/waste/cbabs1.htm>], 2000.
2. *Converting Coal Waste into Useful Material*, 1997, Petrominer No. 12/December 15,1997
3. *Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Asphalt Concrete*, [<http://www.fthrc.gov/hnr20/recycle/waste/cbabs2.htm>], 2000.
4. Waller, Fred H., *Use of Waste Materials in Hot Mix Asphalt.*, ASTM, Philadelphia, 1993.
5. Butalia, Tarunjit, *Coal Combustion Products*, Ohio State University Fact Sheet No. AEX-330-339, Ohio, 1999.
6. Ghafoori, Nader, *Field Studies of Illinois PCC Botom Ash For Structural Grade Concrete Pavement*, Southern Illinois University at Carbondale, [<http://www.icci.org/98final/ghafoori.htm>], 1998.
7. Harvey, Erin, *Using Illinois PCC Bottom Ash for Construction*, Inside Coal Research, Vol 4.No 3, Coal Research Center, [<http://www.siu.edu/~coalctr/inscoal2.htm>], 1998.