

PEMANFAATAN BAHAN LIMBAH UNTUK PERKERASAN LENTUR JALAN RAYA

Ami Asparini dan Djoko Sulistiono
Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP, ITS
Telepon: 0315946465
email: djoko_sulistiono@ce.its.ac.id

Abstract

A number of research activities have been carried out on the utilization of various kinds of solid wastes, namely rice husk ash, coal fly ash, residual cane ash, aluminium smelting residue, palm oil residual ash, and used tyre powder, as mixing components for road hardening pavement. Results of these research works were compiled in order to compare the strengths and effectiveness as road pavement mixing components. The methods for implementing the experiments and mixing processes were following the Indonesian National Standards (SNI) and the British Standards (BS) 594. This research showed that the mixtures of rice husk ash and coal fly ash, residual cane ash and cement, and aluminium smelting waste could be utilized for subgrade mixture components. These mixtures could increase the California Bearing Ratio (CBR) value up to 25 times and the soil strength up to 6 times. The coal flyash, however, decreased the Plasticity Index (PI) value of about 8%. The CBR value of original subgrade soil of 1% was increased up to 14,78% using 3% of residual cane ash and PC type I using 4 day curing time. Using the residual cane ash of 6%, the initial PI value of 57,29% decreased to 32,05%. The PI value of aluminium smelting waste decreased from 43,36% to 29%. The initial CBR value of 2,73% was increased to 12,67% at 10% concentration within 7 days of dry condition. The coal fly ash met the specification as filler, so that it could be also utilized as *Asphalt Treated Base* (ATB) filler, as shown by the results of Marshall. The steel blast furnace crust could be used as coarse aggregate in hot mix blend, because it met the requirement as coarse aggregate, as proved by the Marshall test. The rice husk ash, coal fly ash, and palm oil residual ash could be used as filler of *Hot Rolled Sheet* (HRS), because they meet the specification after being mixed with another material. The Marshall test showed that stability, flow and film thickness also met the specification. The tyre powder met the criteria as an additive, and when mixed with another forming material also met the stability specification.

Keywords: waste, plasticity index, CBR, specification of mixture, flexible pavement

1. Pendahuluan

Perkerasan lentur jalan terdiri dari tanah dasar (*subgrade*), pondasi bawah (*subbase course*), pondasi atas (*base course*), maupun lapis permukaan perkerasan. Masing-masing lapisan tersebut dapat memanfaatkan bahan limbah seperti abu sekam padi, abu terbang batubara, abu ampas tebu, kerak dapur tinggi baja dan abu kelapa sawit, baik untuk memperbaiki kekuatan maupun sebagai salah satu upaya dalam mengatasi masalah lingkungan.

Ketersediaan bahan limbah tersebut cukup banyak. Selain itu Indonesia sebagai negara agraris, tentunya mempunyai sumber daya

alam antara lain tambang batubara yang cukup melimpah. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk pemanfaatan limbah tersebut, namun efektifitasnya belum diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kelayakan pemanfaatan sejumlah limbah padat untuk bahan perkerasan jalan raya.

Moeljo, Sulistiono dan Arifin (2001) melakukan penelitian penggunaan abu sekam padi untuk perbaikan *subgrade* di Surabaya, demikian pula Gogot (2003) meneliti tentang abu terbang batubara untuk perbaikan tanah dasar (*subgrade*). Menurut Djoko (2005) abu terbang batubara, termasuk klasifikasi limbah B3 (kode 223) pada PP No. 85 tahun 1999, tentang pengelolaan limbah B3. Dengan demikian dapat dianggap bahwa limbah abu terbang batubara

dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif campuran konstruksi perkerasan jalan yang merupakan salah satu upaya untuk mengatasi dampak lingkungan.

Pencampuran tanah dasar dengan menggunakan abu sekam padi, abu terbang batubara, abu ampas tebu dan limbah aluminium adalah salah satu bentuk stabilisasi kimia untuk memperbaiki sifat fisik. Hal ini dikarenakan abu sekam padi didominasi oleh unsur silika (SiO_2), yaitu sebanyak 65%. Demikian pula halnya dengan abu terbang batubara dan abu ampas tebu yang mengandung sebanyak 40-60%. Bahan silika mampu mengurangi sifat lempung susut tanah, kemudian bentuknya yang kasar dan ringan akan memudahkan untuk dicampur dan dipadatkan. Sedangkan bahan aluminium mampu sebagai penetralisir sifat mengembang tanah melalui proses kimiawi.

Menurut Braja (1998), tanah dasar yang lebih 50% berat total lolos ayakan No. 200 termasuk berbutir halus dan jika harga liquid limit (LL) > 50% dikategorikan plastisitas tinggi. Sedangkan menurut Hardiyatmo (1992), tanah dengan PI > 17% merupakan tanah lempung plastisitas tinggi. Persyaratan Bina Marga untuk dipakai sebagai tanah dasar adalah dengan PI maksimum 10% dan California Bearing Ratio (CBR) minimum 6%.

Asphalt Treated Base (ATB) adalah campuran panas agregat kasar, agregat halus, aspal cair dan *filler*. Komponen agregat kasar pada ATB cukup besar, dapat mencapai 40-60% campuran. *Filler* ATB biasanya dibuat dari bahan abu batu, kapur atau semen, sesuai spesifikasi Bina Marga, dengan kisaran antara 4,5-7,5%. Persyaratan lainnya untuk *filler* adalah non plastis, sebagian besar (95%) lolos saringan No. 200 dan berkondisi kering. Menurut Sukirman (1993) kriteria campuran lainnya adalah stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, skid resistance dan

kedap air. Campuran ATB dengan *filler* abu terbang batubara harus memenuhi kriteria/sifat campuran sesuai spesifikasi Bina Marga.

Hot Rolled Sheet (HRS) adalah nama lain dari Lapisan Tipis Aspal Beton (LATASTON), yang merupakan campuran panas agregat kasar, agregat halus, aspal semen dan *filler*. HRS bergradasi senjang, berlainan dengan lapisan aspal beton (LASTON) yang bergradasi menerus. Agregat kasar untuk HRS harus memenuhi beberapa persyaratan dari Bina Marga seperti, keausan maksimum 40%, kelapukan (*soundness*) maksimum 16%, kelekatan terhadap aspal minimum 95%, berat jenis minimum 2,5 dan penyerapan maksimum 3%.

Filler yang dapat dimanfaatkan untuk HRS maupun laston adalah abu batu, semen, kapur atau bahan lain yang memenuhi persyaratan. Persyaratan tersebut meliputi: sebagian besar (> 75%) lolos saringan No. 200, bersifat non plastis, anorganik dan kering (kadar air < 1%), *sand equivalent* minimum 50%. Sedangkan sifat campuran yang harus dipenuhi dari HRS adalah stabilitas antara 450-850 kg, flow 2-4 mm, Marshall Q quotient antara 1-5 kN/mm, air void antara 3-6% dan *film thickness* > 8 mm. Stabilitas yang cukup akan mampu menahan beban tanpa perubahan bentuk seperti akur dan gelombang. Gradasi senjang pada HRS mengakibatkan terbentuknya rongga antara butir yang besar, aspal yang digunakan lebih banyak, rongga udara campuran kecil. Hal tersebut akan menyebabkan timbulnya fleksibilitas, yaitu ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa timbul keretakan. Film thickness yang cukup tebal menjamin durabilitas, yaitu ketahanan terhadap aus akibat cuaca dan gesekan kendaraan.

Penggunaan bahan aditif, seperti arboce, roadcel 50 dll, bertujuan untuk meningkatkan kinerja aspal semen yang selama ini merupakan material impor yang cukup mahal. Bahan tambahan ini mengandung 75-80% selulosa, sehingga perlu dicarikan alternatif bahan tambahan yang lebih murah, tetapi aman digunakan.

2. METODOLOGI

Secara garis besar ada kesamaan dalam metoda penelitian dan standar yang digunakan para peneliti. Bila terdapat perbedaan hanyalah dari faktor jenis/variasi jumlah bahan, lama pemeraman, dan lain-lain. Karena sesuai prosedur, baik untuk perbaikan tanah dasa, maupun perbaikan campuran aspal panas (*hot mix*), seperti ATB dan HRS harus mengikuti prosedur yang baku, yaitu perbaikan tanah dasar dan campuran aspal panas.

Perbaikan Tanah Dasar (*sub grade*)

Uji dilakukan terhadap tanah asli seperti gravimetri/volumetri, uji Atterberg, proktor dll. Tanah asli dicampur dengan berbagai variasi kadar bahan limbah untuk abu sekam (4%, 8%, 12%, 16%), variasi untuk abu terbang batubara sebesar (10%, 15%, 20%, 25%), untuk kadar abu ampas tebu (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%) dan PC tipe I, 3% dan untuk limbah aluminium sebesar (5%, 7,5%, 10%). Campuran tanah asli dengan variasi abu sekam selanjutnya diperam, untuk uji Atterberg pada variasi pemeraman 1, 2, 3, dan 4 hari. Sedangkan pada campuran tanah asli dengan abu terbang batubara dilakukan curing 7 hari dan 28 hari. Selanjutnya dilakukan uji UCS untuk mencari kekuatan tanah (qu). Dalam hal ini abu ampas tebu diperam 2 hari dan 4 hari untuk menentukan harga CBR. Limbah aluminium dirawat kering 7 hari untuk menentukan harga CBR. Tanah asli dicampur abu sekam setelah diperam, kemudian dipadatkan dengan variasi pukulan 25, 35, 45 dan 55 kali. Campuran kemudian direndam selama 96 jam untuk kemudian dilakukan uji CBR di laboratorium. Hal yang sama dilakukan pada abu ampas tebu.

Perbaikan Campuran Aspal Panas (*Hot Mix*)

Uji dilakukan terhadap bahan pembentuk campuran (agregat kasar, agregat halus, aspal semen dan bahan *filler*). Bahan limbah kerak

dapur tinggi baja dinilai kelayakannya sebagai agregat kasar campuran aspal. Bahan limbah abu terbang batubara, abu sekam padi, abu kelapa sawit dinilai kelayakannya sebagai *filler* ATB dan HRS. Serbuk ban bekas diuji sebagai zat aditif aspal semen pada variasi 2-6%. Proporsi agregat ditetapkan berdasarkan hasil uji saringan agregat kasar dan halus. Berdasarkan proporsi agregat yang telah ditetapkan untuk kadar *filler* yang sesuai persyaratan, dilakukan variasi kadar aspal antara 4-10% guna menentukan kadar aspal optimum.

Pada limbah kerak dapur tinggi baja dilakukan variasi perendaman selama 1, 4 dan 7 hari dengan variasi pukulan 35, 55 dan 70 kali untuk memperoleh kadar optimum rata-rata pada setiap variasi aspal. Sesuai kadar aspal optimum dilakukan variasi kadar abu sekam sebagai *filler* sebesar 4%, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6%. Pada uji abu terbang batubara sebagai *filler* ATB dilakukan variasi sebesar 3%, 4%, 5%, 6% dan 7% untuk menentukan karakteristik campuran sehubungan perubahan kadar *filler* tersebut. Tidak ada variasi kadar abu kelapa sawit sebagai *filler*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

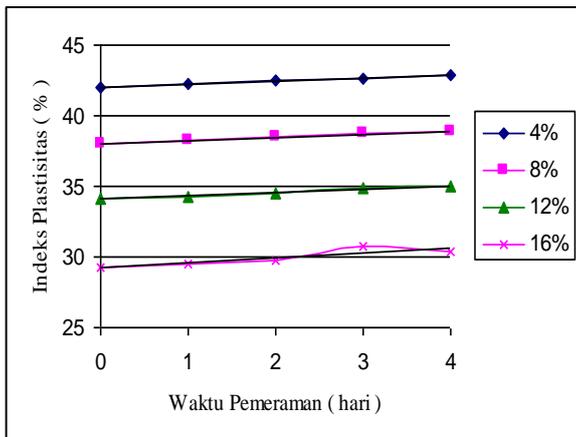
Hasil penelitian terhadap tanah asli berupa lempung Tandes Surabaya menunjukkan bahan tanah tersebut berplastisitas tinggi. Hal ini terlihat dimana harga $PI=49,18\% > 17\%$, *liquid limit* (LL)= $95,30\% > 50\%$ dan harga $CBR=0,72\%$. Selanjutnya setelah dicampur abu sekam dengan variasi bahan abu sekam 4%, 8%, 12% dan 16% serta pemeraman 1 hari, 2 hari, 3 hari dan 4 hari, diperoleh harga *Indeks Plastisitas* (PI) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan adanya penurunan PI setelah tanah dicampur dengan abu sekam. Semakin banyak abu sekam menyebabkan harga PI semakin menurun. Akan tetapi penurunan masih belum maksimal, karena harganya $> 10\%$. Demikian juga lama pemeraman hanya sedikit berpengaruh terhadap harga PI. Kemudian setelah diperam dan

dipadatkan dengan variasi pukulan 25, 35, 45, dan 55 kali, sampel direndam 96 jam untuk uji CBR di laboratorium. Hasil uji menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar abu sekam, semakin banyak pukulan dan semakin lama pemeraman akan mempertinggi harga CBR. Harga tertinggi CBR sebesar 19,20% terjadi pada kadar abu sekam 16% dengan jumlah pukulan 55 kali dan lama pemeraman 4 hari.

Tabel 1. Hasil Uji PI Tanah Campur Abu Sekam (Moeljo, dkk, 2001)

Waktu Pemeraman	Indeks Plastis (%)			
	Kadar Abu Sekam (%)			
	4	8	12	16
0	42,01	38,04	34,12	29,21
1	42,24	38,23	34,31	29,21
2	42,45	38,49	34,55	29,46
3	42,61	38,69	34,84	30,78
4	42,82	38,86	35,06	30,39



Gambar 1. Hubungan IP dengan Kadar Abu Sekam dan Waktu Pemeraman

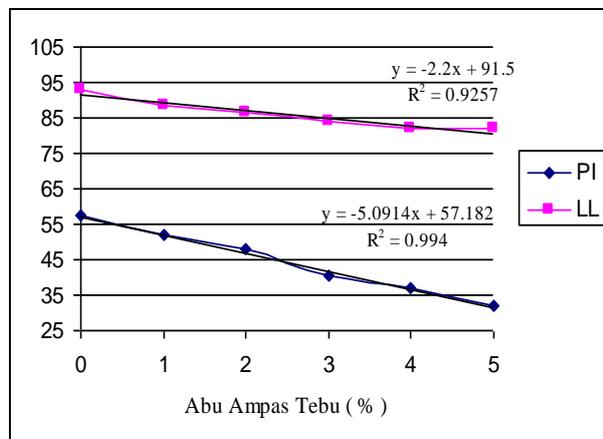
Hasil penelitian untuk tanah asli daerah Surabaya Barat menunjukkan bahwa tanah lokasi tersebut mempunyai plastisitas tinggi. Hal ini dapat dilihat dari harga LL sebesar 100%, 50% lebih besar dari kekuatan tanah (q_u) $< 1 \text{ kg/cm}^2$. Selanjutnya setelah dicampur dengan abu terbang batubara variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, terjadi penurunan nilai LL dan PI yang cukup berarti (25% abu terbang batubara harga LL = 80% dan PI = 45% $> 17\%$). Dalam hal ini

walaupun kondisi tanah tetap, nilai plastisitas tinggi. Pengaruh tambahan kadar abu terbang batubara terhadap kekuatan tanah cukup berarti, baik dengan dan tanpa curing. Tanah yang dicampur 25% abu terbang batubara, dengan waktu curing 28 hari kekuatannya dapat meningkat menjadi 6 kg/cm^2 dari nilai semula $< 1 \text{ kg/cm}^2$.

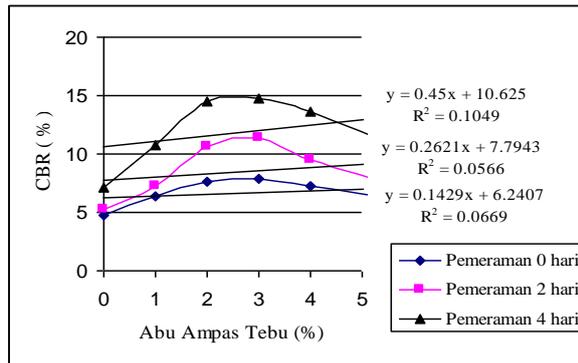
Hasil uji terhadap tanah asli menunjukkan bahwa tanah tersebut mempunyai plastisitas tinggi (nilai LL = 93,00% $> 50\%$ dan nilai PI = 57,29% $> 17\%$, sedangkan harga CBR = 1%). Selanjutnya tanah dicampur abu ampas tebu dengan variasi 1%, 2%, 3%, 4%, 6% dan semen tipe I sebesar 3%. Variasi pemeraman dilakukan selama 2 hari dan 4 hari. Hasil uji selengkapnya disajikan pada Tabel 2 dan untuk hubungan nilai PI terhadap LL pada Gambar 2.

Tabel 2. Hasil Uji Tanah Campur Abu Ampas Tebu dan PC Tipe I Sebanyak 3% (Sutresno dan Hapsoro, 2001)

Persentase Abu ampas tebu	Indek Plastisitas (%)	Batas Cair (LL)	CBR (%)		
			Pemeraman (hari)		
			0	2	4
0	57,29	93,00	4,78	5,31	7,11
1	51,85	88,50	6,33	7,22	10,78
2	47,94	86,50	7,68	10,67	14,44
3	40,62	84,00	7,83	11,33	14,78
4	36,99	82,00	7,28	9,56	13,67
6	32,03	82,00	5,83	6,87	10,17



Gambar 2. Hubungan Antara Nilai PI dan LL dengan Kadar Abu Ampas Tebu



Gambar 3. Hubungan Antara Nilai CBR dengan Kadar Abu Ampas Tebu dan Waktu Pemeraman

Berdasarkan Tabel 2, Gambar 2 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa kadar abu ampas tebu yang semakin tinggi, akan semakin menurunkan harga PI dan LL, yang berarti secara fisik semakin baik. Tetapi khusus nilai CBR mencapai harga optimum pada kadar abu ampas tebu sebesar 3% dengan waktu pemeraman selama 4 hari.

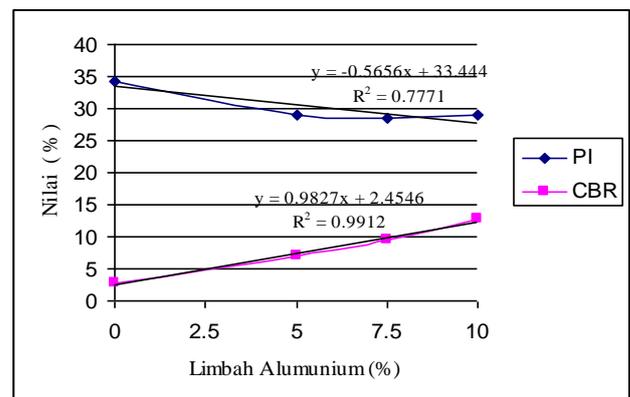
Hasil uji terhadap tanah asli menunjukkan bahwa tanah tersebut mempunyai plastisitas tinggi, terlihat dari nilai $PI = 34,36\% > 17\%$, sedangkan nilai CBR cukup rendah ($2,75\% < 6\%$). Hasil tersebut tidak memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar. Setelah dicampur dengan limbah peleburan aluminium pada kadar 5%, 7,5%, 10%, serta rawat kering selama 7 hari, dengan hasil sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3. Sedangkan hubungan PI dan CBR dengan kadar aluminium disajikan pada Gambar 4.

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 4 tampak bahwa semakin banyak limbah aluminium, sifat fisik tanah menjadi semakin baik. Hal tersebut terlihat dari penurunan nilai PI dari

semula 34,56% menjadi 29,00% dan harga CBR dari semula 2,75% menjadi 12,67%.

Tabel 3. Hasil Uji Tanah Campur Limbah Aluminium (Sandrima dan Suwanto, 2002)

Kadar limbah Aluminium (%)	PI (%)	CBR (%)
0	34,36	2,73
5	29,08	6,93
7,5	28,61	9,60
10	29,00	12,67

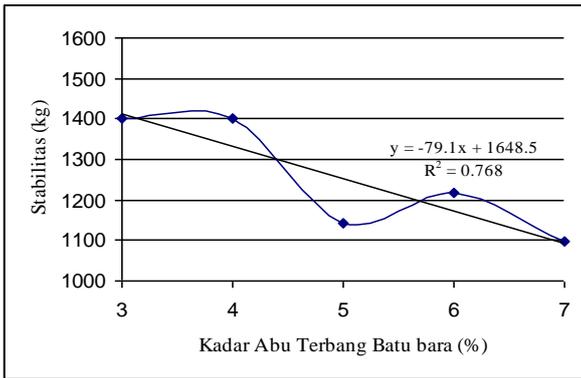


Gambar 4. Hubungan PI dan CBR dengan Kadar Limbah Aluminium

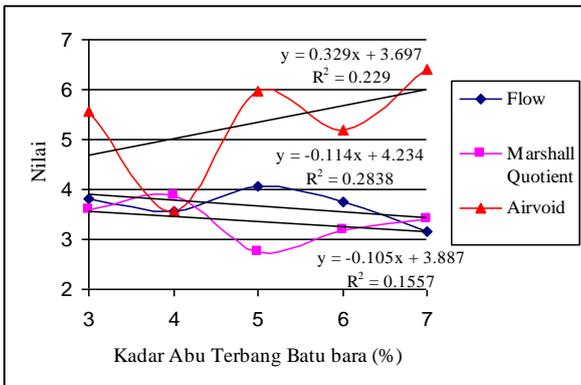
Hasil uji terhadap bahan abu terbang batubara menunjukkan bahwa bahan tersebut telah memenuhi persyaratan, yaitu bersifat non plastis, anorganik, 95% lolos saringan No. 200 dan kondisi kering. Kemudian setelah dicampur dengan proporsi agregat sesuai hasil uji saringan, aspal dengan *filler* abu terbang batubara sesuai persyaratan, diperoleh kadar aspal optimum 5,74%. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 5-7%. Dengan kadar optimum proporsi agregat yang tetap dengan variasi kadar *filler* abu terbang batubara 3-7% diperoleh hasil sebagaimana pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Marshall Pada Variasi Kadar *Filler* Abu Terbang Batubara (Sulistiono, Sa'ud dan Asparini, 2000)

Sifat Campuran	Kadar <i>filler</i> (%)					Spesifikasi HRS Bina Marga
	3	4	5	6	7	
Stabilitas(kg)	1402	1402	1144	1219	1098	>750
Flow (mm)	3,82	3,55	4,05	3,75	3,15	2-4
Marshall (kN/mm)	3,59	3,87	2,76	3,18	3,41	1,8-5
Air void (%)	5,57	4,57	5,97	5,20	6,40	4-8



Gambar 5. Hubungan Antara Nilai Stabilitas dengan Kadar Abu Terbang Batubara



Gambar 6. Hubungan Antara Nilai Flow, Marshall Quotient dan Air Void dengan Kadar Abu Terbang Batubara

Sesuai Tabel 4, maka abu terbang batubara dapat dimanfaatkan sebagai *filler* ATB, karena hasilnya telah memenuhi syarat spesifikasi. Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar abu terbang batubara, nilai stabilitas dan flow semakin menurun, namun penurunannya masih dalam batas spesifikasi Bina Marga.

Hasil karakterisasi bahan pembentuk campuran aspal panas terutama agregat kasar dari limbah kerak dapur tinggi baja telah memenuhi syarat keausan 36,64% (<40%), berat jenis 3,57 (>2,50), kelekatan 98% (>95%). Dengan variasi kadar aspal 4-8%, agregat kasar limbah dapur tinggi baja, agregat halus pasir sungai, *filler* abu batu

bara, dicampur dan dipadatkan. Variasi jumlah pukulan yang diberikan adalah: 35, 50, 75 pukulan. Adapun variasi lamanya perendaman adalah 1, 4 dan 7 hari. Hasil uji menunjukkan kadar aspal optimum rata-rata untuk 35, 50 dan 75 pukulan adalah: 6,53%, 7,03% dan 6,55% (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil Uji Marshall terhadap Benda Uji dengan Berbagai Variasi Pemadatan (Soewarno dan Moeljo, 1999)

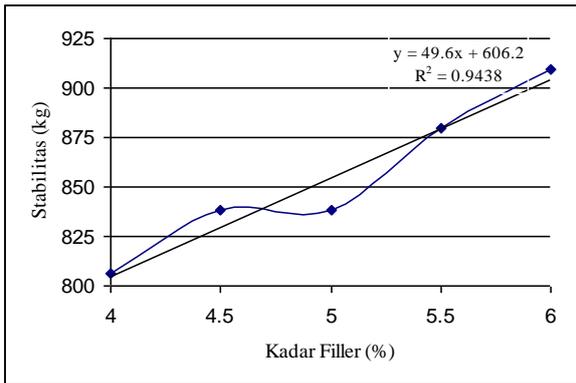
Pemadatan (pukulan)	Jenis Pemeriksaan	Hasil uji	Syarat Bina Marga	Keterangan
35	Kadar	3,33	3-5 %	Memenuhi syarat
50	Pori udara	3,97		
75		3,90		
35	Film thickness	78	> 8 μ	Memenuhi syarat
50		76,67		
75		76,02		
35	Angka Perbandingan Marshall	1,56	1-3 kN/mm	Memenuhi syarat
50		1,49		
75		2,11		
35	Stabilitas Marshall	650	450-850 kg	Memenuhi syarat
50		610		
75		776,67		

Hasil penelitian terhadap bahan abu sekam padi sebagai *filler* HRS menunjukkan bahwa bahan tersebut telah memenuhi persyaratan (bersifat non plastis, anorganik, 81% (>75%) lolos saringan No. 200 dan kondisinya kering). Kemudian setelah dicampurkan dengan agregat kasar sebesar 25%, agregat halus 69%, kadar *filler* 5% dan variasi kadar aspal 80/100 sebesar 6,5%, 7%, 7,5%, 8%, 8,5%, hasil uji menunjukkan bahwa kadar aspal optimum yang didapatkan sebesar 7,25%. Berdasarkan pada kadar aspal optimum, dengan proporsi agregat yang tetap diberikan variasi *filler* 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%. Hasil uji secara lengkap disajikan pada Tabel 6.

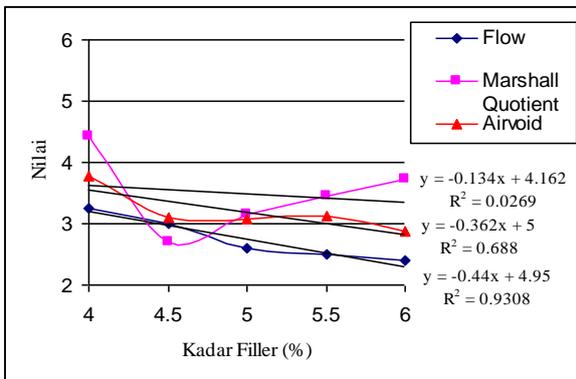
Tabel 6 menunjukkan bahwa abu sekam padi layak dimanfaatkan sebagai *filler* HRS. Hal ini dikarenakan semua persyaratan spesifikasi Bina Marga dapat dipenuhi. Sedangkan Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar abu sekam padi sebagai *filler*, menghasilkan stabilitas semakin baik dan flow semakin turun.

Tabel 6. Hasil Uji Marshall pada Variasi *Filler* (Sulistiono, 1999)

Sifat Campuran	Kadar <i>filler</i> (%)					Spesifikasi HRS Bina Marga
	4	4,5	5	5,5	6	
Stabilitas (kg)	806	838	838	880	909	450-850
Flow (mm)	3,25	3,00	2,60	2,50	2,40	2-4
Marshall (kN/mm)	4,43	2,70	3,16	3,45	3,72	1-5
Air void (%)	3,78	3,11	3,07	3,12	2,87	3-6
Film thickness (µm)	13,93	13,68	12,23	12,74	12,32	>6



Gambar 7. Hubungan antara Nilai Stabilitas dengan Kadar *Filler*



Gambar 8. Hubungan antara Nilai Flow, Marshall Quotient dan Air Void dengan Kadar *Filler*

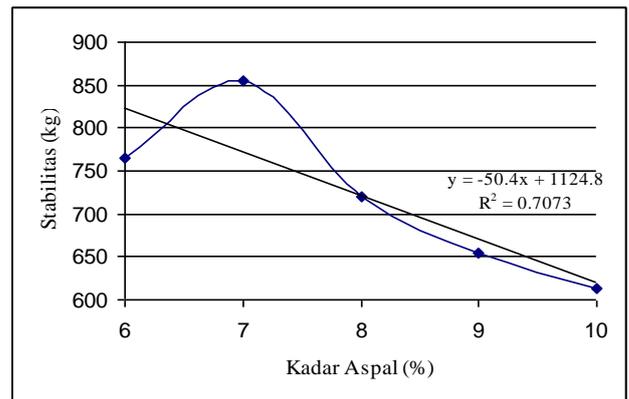
Hasil uji terhadap bahan pembentuk aspal (agregat kasar, agregat halus, AC 80/100, termasuk *filler* abu terbang batubara) telah memenuhi syarat. Kemudian setelah bahan dicampur dengan variasi kadar aspal 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% diperoleh nilai stabilitas dan flow yang memenuhi syarat HRS (Tabel 7).

Gambar 9 menunjukkan semakin tinggi kadar aspal, nilai stabilitas makin turun.

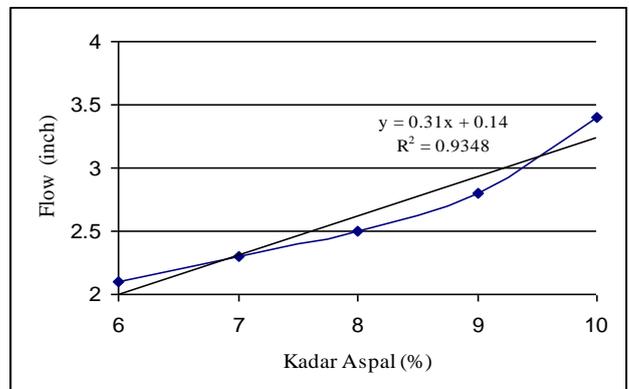
Sebaliknya dengan meningkatnya kadar aspal, nilai flow semakin naik (Gambar 10). Kedua hal tersebut telah memenuhi syarat spesifikasi.

Tabel 7. Hasil Uji Stabilitas dan Flow Campuran HRS dengan *Filler* Abu Terbang Batubara (Pratomo, 1998a)

Sifat campuran	Kadar aspal (%)					Spesifikasi HRS
	6	7	8	9	10	
Stabilitas (kg)	765	855	720	655	613	450-850
Flow (mm)	2,10	2,30	2,50	2,80	3,40	2-4



Gambar 9. Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal



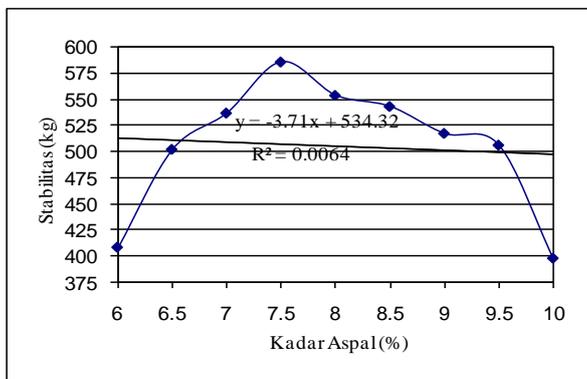
Gambar 10. Hubungan Flow dengan Kadar Aspal

Sebagaimana tercantum pada Tabel 7, kadar aspal 7% mampu memberikan stabilitas tertinggi sebesar 855 kg. Dengan demikian abu terbang batubara dapat dimanfaatkan sebagai *filler* HRS. sedangkan hasil uji yang dilakukan terhadap bahan pembentuk HRS, seperti agregat kasar, agregat halus, AC

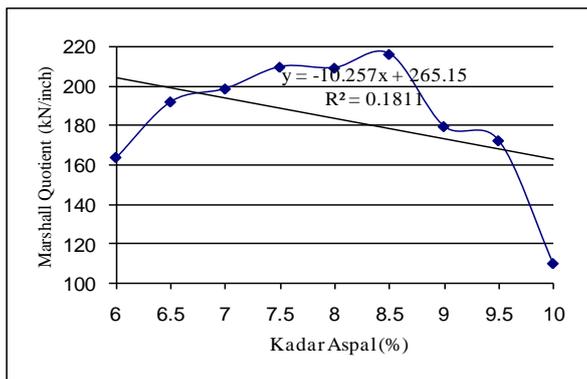
60/70 serta *filler* abu kelapa sawit memenuhi persyaratan Bina Marga. Setelah bahan tersebut dicampur dengan variasi kadar aspal 6-10% diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada Tabel 8. Hubungan stabilitas, nilai Marshall dan nilai rongga dengan kadar aspal berturut-turut disajikan pada Gambar 11, 12 dan 13.

Tabel 8. Hasil Uji Marshall Pada Variasi Kadar Aspal (Pratomo, 2001)

Sifat	Kadar Aspal (%)									Spesifikasi HRS Bina Marga
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	
Stabilisasi (kg)	407,3	501	535,8	584,7	552,7	542,1	516,3	505,1	396,8	450-750 kg
Marshall quotient (kN/mm)	163,4	191,7	198,3	209,4	208,9	215,9	179,1	171,9	109,3	150-300 kg/mm
Rongga udara dlm campuran	8,10	6,79	4,92	4,79	3,43	3,42	2,57	1,54	0,96	4-8 %



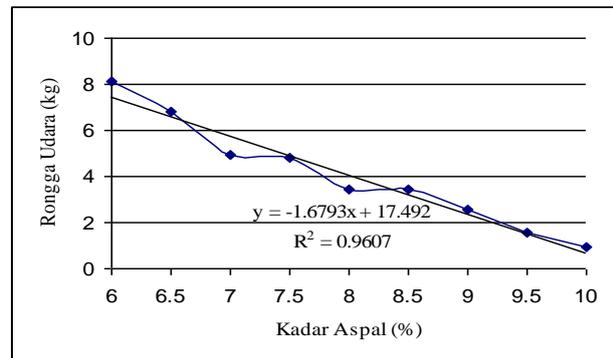
Gambar 11. Hubungan antara nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal



Gambar 12. Hubungan antara nilai Marshall Quotient dengan Kadar Aspal

Tabel 8 menunjukkan bahwa kadar aspal sebesar 6,5-7,5% atau dengan kadar optimum 7% memenuhi syarat stabilitas, Marshall Quotient dan rongga udara. Dengan demikian *filler* dari abu kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran HRS.

Santoso, Siswosoebrotho dan Widodo (2001) juga telah meneliti kelayakan abu kelapa sawit sebagai *filler* HRS. Abu kelapa sawit tersebut diberi campuran semen dan kapur. Hasil uji laboratorium memberikan hasil sebagaimana terlihat pada Tabel 9.



Gambar 13. Hubungan antara Nilai Rongga Udara dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Tabel 9, ternyata campuran *filler* dari abu kelapa sawit dan semen maupun kapur memenuhi syarat stabilitas, karena nilainya melebihi spesifikasi HRS. Hasil uji laboratorium terhadap abu kelapa sawit sebagai *filler* HRS yang memenuhi persyaratan adalah dalam campuran 25% semen dan 25% kapur ditambah 75% abu kelapa sawit. Hasil uji terhadap bahan pembentuk LASTON seperti aspal semen 60/70, agregat kasar/agregat dari bukit di Padalarang dan *filler* telah memenuhi persyaratan. Hasil uji aspal semen 60/70 dicampur serbuk ban bekas dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Uji Laboratorium Kelayakan Abu Kelapa Sawit sebagai *Filler* HRS (Santoso, Siswosoebrotho dan Widodo, 2001)

Campuran <i>filler</i>	Kadar aspal optimum (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Rongga udara dalam campuran (%)
100% semen	6,97	1514	4,37	3,78
100% kapur	7,10	1481	4,20	2,82
100% abu kelapa sawit	6,37	1293	4,30	3,22
50% semen 50% abu sawit	7,47	1508	4,23	3,67
25% semen 75 % abu sawit	7,63	1490	4,12	4,37
50% kapur 50% abu sawit	7,60	1483	3,70	3,62
25% kapur 75% abu sawit	7,67	1373	3,70	4,33

Tabel 10. Hasil Uji Campuran Aspal Semen 60/70 dengan Serbuk Ban Bekas (Kusumawati dan Siswosoebroto, 2001)

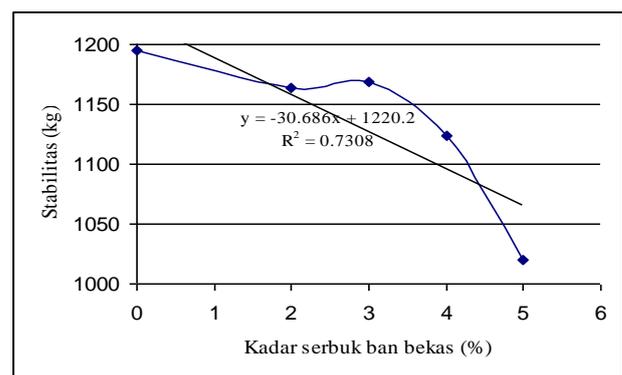
Jenis uji	Kadar serbuk ban bekas (%)						Spesifikasi
	0	2	3	4	5	6	
Penetrasi (25°C)	72,05	69,17	67,25	65,63	61,73	59,53	60-79
Titik lembek (°C)	48,00	48,25	48,50	48,75	49,75	50,00	48-58
Berat jenis	1,032	1,030	1,029	1,028	1,027	1,026	1

Dengan demikian campuran aspal semen pada berbagai variasi serbuk ban bekas dapat memenuhi syarat bahan. Hasil uji Marshall pada kadar aspal optimum untuk setiap kadar serbuk ban bekas secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Marshall Pada Variasi Kadar Serbuk Ban Bekas (Kusumawati, 2001)

Kadar serbuk ban bekas (%)	Kadar aspal optimum (%)	Stabilitas (kg)	Spesifikasi LASTON (kg)
0	7,6	1195,62	Min 750
2	7,5	1164,30	
3	7,5	1168,48	
4	7,4	1123,19	
5	7,4	1019,77	
6	7,4	1001,78	

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 11, penggunaan serbuk ban bekas dapat memenuhi syarat stabilitas campuran. Namun secara ekonomi kecil pengaruhnya, karena penurunan kadar aspal optimum relatif kecil. Gambar 14 menunjukkan dengan penambahan kadar serbuk ban bekas, stabilitas semakin menurun, namun masih memenuhi persyaratan spesifikasi.

**Gambar 14.** Hubungan antara nilai Stabilitas dengan Kadar Serbuk Ban Bekas

4. KESIMPULAN

Abu sekam padi memenuhi persyaratan dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah dan *filler* HRS. Demikian pula abu terbang batubara dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah, *filler* HRS dan *filler* ATB. Sedangkan abu ampas tebu dan limbah peleburan aluminium dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah dasar. Selain itu kerak dapur tinggi baja dapat pula digunakan sebagai agregat kasar aspal beton. Abu kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai *filler* HRS. Serbuk ban bekas dapat dimanfaatkan sebagai aditif aspal semen.

Beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut: (1) perlu adanya produksi abu sekam padi, abu terbang batubara dan lain sebagainya yang dapat menjamin keseragaman kualitas dan kontinuitas produksi, (2) perlu adanya penelitian khusus mengenai pengaruh kimiawi abu sekam padi, abu terbang batubara, abu kelapa sawit terhadap campuran aspal panas (*hot mix*).

DAFTAR PUSTAKA

- Braja, D.M. (1998), Mekanika Tanah, Penerbit Erlangga Jakarta.
- Gogot, S.B. (2000). Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Expansip. *Dimensi Teknik Sipil*. 5(1).
- Hardiyatmo (1992). Mekanika Tanah I. Penerbit Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Kusumawati, A. dan Siswosoebroto, B.I. (2001) Kinerja Campuran Beton Aspal yang Menggunakan Serbuk Ban Bekas sebagai Bahan Tambah Aspal. *Prosiding Simposium 4 FSTPT Udayana Bali*.
- Moeljo, SM. Sulistiono, D. dan Arifin, S (2001). Stabilisasi Abu Sekam Pada Tanah Lempung Plastisitas Tinggi Lokasi Jl. Margomulyo Tandes Surabaya. *Jurnal TORSI Jurusan Teknik Sipil, Edisi Nopember 2001*.
- Pratomo, P. (1998). Campuran *Hot Rolled Sheet* dengan Beberapa Jenis *Filler*. *Prosiding Simposium I FSTPT Bandung*.
- Pratomo, P. (2001). Penggunaan Limbah Abu (Marmer, Terbang, Sawit) sebagai Bahan Pengisi Pada Campuran Lataston. *Prosiding Simposium 4 FSTPT Udayana Bali*.
- Sandrima, S. dan Suwanto, A (2002). Pengaruh Limbah Industri Peleburan Aluminium sebagai Bahan Stabilisasi terhadap Sifat Teknik Tanah Lempung. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Geoteknik VI Surabaya*.
- Santosa, L. Siswosoebroto, BI. dan Widodo, P (2001). Kinerja Laboratorium Campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan Abu Sawit sebagai *Filler*. *Prosiding Simposium 4 FSTPT Udayana Bali*.
- Sukirman, S. (1993). Perkerasan Lentur Jalan Raya. Penerbit Nova Bandung.
- Sulistiono, D. (1999). Pemanfaatan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) sebagai *Filler* Campuran *Hot Rolled Sheet*. *Jurnal TORSI Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS*.
- Sulistiono, D. Sa'ud, I. dan Asparini, A. (2000) Pemanfaatan Abu Terbang Batubara Sebagai *Filler* Campuran ATB (*Asphalt Treated Base*). *Jurnal TORSI Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS*.
- Sutresna, I.M. dan Hapsoro, S. (2001). Kajian Laboratorium Stabilisasi Tanah dengan Semen dan Abu Ampas Tebu untuk Tanah Dasar Pada Lapis Perkerasan Lentur. *Prosiding Simposium 4 FSTPT Udayana Bali*.
- Soewarno dan Moeljo, S. (1999), Pemanfaatan Limbah Dapur Tinggi Baja sebagai Agregat Kasar Campuran Aspal Beton. *Jurnal TORSI Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS*.