

PAVING STONE BERBAHAN ABU SAMPAH TANAMAN

Yusuf Wahyudi

Staf Pengajar Fakultas Teknik UMM

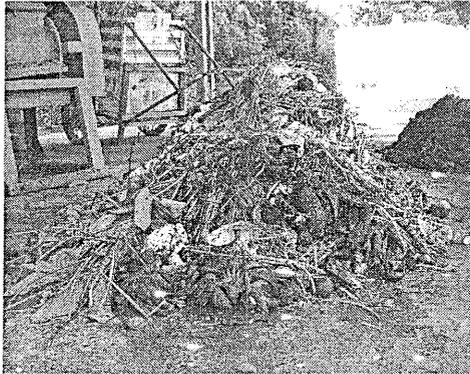
Abstract

This paper discusses about the advantage of organic disposal ash as an additive on paving stone mixture. The organic disposals such as leaves, wood stick, etc. were taken from garbage tank at the market, living area, and temporary tank. Then they were burnt in to an artificial furnace at temperature of 28-500°C for about 195 minutes. The mix design were 1 portland cement : 3 sand : 3 stone ash : organic ash of 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14% and 15% of cement weight : 0.6 water. The result showed that organic disposal ash ratio was 0.05, and the gradation was observed in zone III. The weight of paving stone containing organic disposal ash was smaller than normally paving stone. The more organic disposal ash the lighter weight of paving stone. The compressive strength of paving stone containing 12% of plant ash was the strongest, it was 119% of the control.

Key word : *compressive strength, paving stone, organic disposal ash*

1. Berat jenis abu sampah tanaman lebih ringan daripada berat jenis pasir. pada campuran paving stone mampu meningkatkan kekuatan.
2. Kuat tekan *paving stone* tebal 8 cm dengan perbandingan bahan 1 semen : 3 pasir : 3 abu batu : abu sampah organik sejumlah 0% (kontrol), 10%, 11%, 12%, 13%, 14% dan 15% dari berat semen adalah 100%, 108%, 120% , 125%, 119%, 108%, dan 105% dari kontrol. **PENDAHULUAN**
Jumlah sampah di kota Surabaya rata-rata 8700 m³/hari, sebagian besar atau lebih kurang 70% sampah basah seperti sisa sayuran, dedaunan (tanaman), dan sisanya sampah kering seperti kertas, plastik, dan logam (Dinas Kebersihan Kota Surabaya, 3 Maret 2005). Pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa volume sampah di tempat-tempat tertentu, seperti : 1)pasar Wonokromo Surabaya (Darmo Trade Center di lantai dasar) sebesar 8,1m³ sampah sayur dan buah, 2)pasar Keputran Surabaya 9,7m³/hari, terdiri atas 8,3 m³ sampah sisa buah atau sayuran dan 1,4m³ sampah anorganik, 3)pasar Genteng Surabaya rata-rata 4,4 m³/hari terdiri atas 2,6 m³ sampah sisa buah dan
3. Kuat tekan *paving stone* tebal 6 cm dengan perbandingan bahan 1 semen : 3 pasir : 3 abu batu : abu sampah organik sejumlah 0% (kontrol), 10%, 11%, 12%, 13%, 14% dan 15% dari berat semen adalah 100%, 102%, 118% , 119%, 105%, 100%, dan 81% dari kontrol.
4. Penambahan abu sampah tanaman sebesar 11-12% dari berat semen

sayuran dan 1,8 m³ sampah anorganik.



ii. sampah organik (dari tanaman)



ii. sampah anorganik bahan daur ulang

Gambar 1. Sampah yang telah dipilah

Volume sampah rumah tangga di daerah pemukiman Rukun Warga (RW) I Tenggilis Kelurahan Tenggilis Mejoyo Kecamatan Tenggilis Mejoyo Kota Surabaya rata-rata 3,72 m³/hari dari 7 hari pengamatan, 1,68 m³/hari sampah anorganik dan 2,04 m³/hari sampah organik. Tempat pembuangan sementara di kelurahan Tenggilis Mejoyo yang menampung sampah dari 4 wilayah RW menampung rata-rata 12,5 m³ yang terdiri atas 7,2 m³ sampah organik dan sisanya sampah anorganik. Sampah anorganik seperti kertas, plastik, kaleng, botol dimanfaatkan sebagai bahan daur ulang. Sampah organik biasanya diproses lagi menjadi pupuk kompos. Sisanya seperti tas, kantong plastik, kain, barang plastik bentuk kecil dibuang ke tempat pembuangan akhir.

Dampak lain dari pengelolaan sampah belum berhasil di Surabaya yaitu banjir hampir selalu melanda saat musim hujan. Salah satu penyebab ialah sampah yang menyumbat saluran

drainase (Kepala Dinas Pengendalian Banjir Kota Surabaya dalam siaran radio, Februari 2005). Pengolahan sampah merupakan salah satu masalah pelik yang dialami kota Surabaya. Para pemerhati lingkungan merekomendasikan bahwa sampah mempunyai potensi sebagai bahan aditif bahan bangunan.

Paving stone atau conblock (concrete block) sering dipakai pada jalan, terminal, ruang parkir terbuka, atau di tempat lainnya. Paving stone dari bahan semen, pasir, air, dan bahan tambah atau tanpa bahan tambah. Pemakaian bahan tambah bertujuan untuk meningkatkan kualitas paving stone.

Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982 disebutkan bahwa pozzolan sebagai bahan tambah mampu memperbaiki kualitas beton karena mengandung silika. Widjaja (1999) menyebutkan bahwa penambahan 10% abu sekam padi yang mengandung silika mampu

meningkatkan kuat tekan beton, menjadi 117% dari beton kontrol. Pembakaran tanaman seperti bambu, batang, ranting, daun, dalam suhu tertentu selang waktu tertentu menghasilkan abu yang mengandung silika amorf 50%-80% (Swamy, 1987).

Beton ialah batuan buatan yang tersusun dari semen, pasir, kerikil, bahan tambah, dan air (Neville, 1982). Semen mengandung trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A), dan tetra kalsium aluminoforit (C_4AF); Hasil reaksi semen (C_3S dan C_2S) dan air adalah kalsium silikat hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat dan kapur bebas (Mindess, 1981). *Paving stone* termasuk salah satu jenis batuan buatan dengan komposisi semen, pasir, bahan tambah, dan air.

Sekam dihasilkan dari pembersihan kulit dari gabah, seberat 20-30% dari berat gabah kering (Suradjit dalam Purnama, 1995). Proses pembakaran sekam menjadi abu mengakibatkan zat organik hilang. Abu sekam padi (asp) dikelompokkan sebagai bahan tambah jenis pozzolan, yang mengandung silika dan alumina dalam jumlah banyak (Neville, 1981). Bentuk silika pozzolan sama dengan jenis silika abu sekam padi yaitu SiO_2

amorph. Pozzolan dan air bereaksi mengikat kapur bebas ($Ca(OH)_2$) pada suhu kamar, membentuk kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat yang bersifat hidrolis dan keras (Subakti dan Sorjawirawan, 1993).

Swamy (1986) menunjukkan unsur hasil pembakaran sekam padi ialah 92,15% SiO_2 , 0,41%, Al_2O_3 0,41% CaO , 0,45% MgO , 0,23%, Na_2O 0,08%, K_2O 2,31%, Fe_2O_3 0,21% dari berat sekam. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dalam asp menurut Borasio (dalam Widjaja, 1999) sebesar 94,50%, dan 0,15%; Wen-Hwei (dalam Widjaja, 1999) yang menyatakan bahwa pembakaran sekam pada suhu terkontrol menghasilkan bahan pozzolan berkualitas dengan kandungan silika 86,9-97,3%. Zhang dan Maholtra, (1996) menyebutkan SiO_2 dan Al_2O_3 sebesar 87,2%, dan 0,15%, serta beberapa unsur lain dan kehilangan berat karena terbakar 8,55%. Priyosulistyo, dkk., (1998) mengungkapkan bahwa unsur SiO_2 amorf memiliki jumlah terbesar yaitu 85% dari berat abu sekam, yang sedangkan kuat tekan beton dengan 15% asp meningkat 15-40% daripada kondisi normal, pada faktor air semen

Tabel 1. Komposisi kimia abu sekam padi

Senyawa	Persentase dari berat (%)			
	Spence&Cook (1983)	Swamy (1986)	Zhang&Maholtra (1996)	Priyosulistyo (1998)
SiO_2	93,1	92,15	87,2	86,55
Al_2O_3	0,4	0,41	0,15	0,41
Fe_2O_3	0,2	0,21	0,16	0,28
CaO	0,4	0,41	0,55	0,46
MgO	0,4	0,45	0,35	0,36
Na_2O	0,1	0,08	1,12	0,09
K_2O	2,3	2,31	3,68	1,29

Sumber : Widjaja, 1999

(fas) 0,4. Analisis Absorbtion Surface (AAS) abu hasil pembakaran sekam padi pada suhu 500°C selama 120 menit menunjukkan bahwa kandungan silika sebanyak 86% (Junaedi, 1998 dalam Widjaja, 1999). Hal ini menguatkan hasil penelitian Priyosulistyo, dkk. yang tak mengungkapkan suhu dan durasi.

Penambahan asp limbah pembakaran bata di Klaten dan Yogyakarta sejumlah 10% dari berat semen dalam campuran beton mampu meningkatkan kuat tekan hingga 50% lebih besar daripada beton tanpa asp (Purnama, 1995). Unsur silika bergradasi sangat kecil akan mengisi rongga antar ruang dalam beton sehingga padat, Saad et.al., (1996) menyatakan bahwa kuat tekan dan kuat tarik beton dengan penambahan 10% *silicafume* lebih tinggi daripada beton dengan penambahan 20%, 30% *silicafume* dan beton kontrol. Sahureka, (1998) menunjukkan kuat tekan beton

dengan penambahan 15% asp lebih tinggi 54,07% daripada beton kontrol. Widjaja (1999) telah memperkuat dugaan tersebut bahwa pada penambahan 15% asp dalam beton mampu meningkatkan kekuatannya 19% lebih tinggi daripada kuat tekan beton kontrol.

1. Bahan dasar

Bahan dasar *paving stone* terdiri atas semen, agregat, air, dan bahan tambah bila diperlukan. Perbandingan tersebut mengacu pada standar *American Concrete Institute (ACI)*, atau *Road Note No.4* yang diperbarui dengan *The British Mix Design Method* atau lebih dikenal dengan *Departemen Of Environment (DOE)*, atau campuran coba-coba, atau campuran cara coba-coba dan *Road Note No.4* (Tjokrodimuljo, 1996).

Tabel 2. Perkiraan komposisi oksida semen *portland*

Oksidasi	Jumlah (%)
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0,5 – 6.0
MgO	0,1 – 4.0
Alkali (K ₂ O + Na ₂ O)	0,2 – 1,3
- SO ₃	1 – 3

Sumber : Neville, 1981

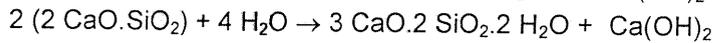
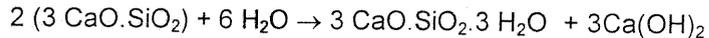
a. Semen

Bahan dasar semen ialah batu kapur dan tanah liat dari alam yang memiliki berbagai oksida. Standar Industri Indonesia (SII) 0013-1981 mendefinisikan bahwa semen portland ialah semen hidrolis, dibuat dengan menghaluskan klinker yang

mengandung silikat kalsium (bersifat hidrolis), dan gips. Semen terdiri dari 4 senyawa pokok, yaitu : (a) trikalsium silikat (3 CaO.SiO₂) atau C3S, (b) dikalsium silikat (2 CaO.SiO₂) atau C2S, (c) trikalsium aluminat (3 CaO.Al₂O₃) atau C3A, (d)

tetrakalsium aluminoforit (4 CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃) atau C₄A.F. Kalsium silikat bereaksi dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat

(calsium silicate hydrate atau C-S-H) dan kalsium hidroksida.



C-S-H padat berongga yang belum sempurna disebut tobermorite. Jumlah tobermorite gel 70% dari semen. Ca(OH)₂ bersifat basa kuat (pH=12,5), sehingga mencegah korosi baja tulangan dalam beton. Reaksi C₃A dengan air, diikuti dengan kenaikan kuat tekan pasta (*flash set*), hidrasi C₃A menghasilkan kalsium sulpho aluminat dan kalsium aluminat hidrat. Reaksi C₃A dengan gypsum (CaSO₄.2H₂O) menghasilkan kalsium sulfo aluminat (3CaO.Al₂O₃)

berbentuk kristal jarum atau ettringate, reaksi tersebut akhirnya menghasilkan kalsium aluminat hidrat berbentuk kristal kubus.

b. Agregat

Jumlah agregat dalam beton 60-80% dari volume beton. Butiran agregat diameter kecil mengisi ruang antara agregat besar sehingga menjadi satu kesatuan massa beton yang utuh dan kompak.

Tabel 3. Batas gradasi agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Daerah pasir			
	I kasar	II agak kasar	III agak halus	IV halus
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber : Tjokrodinulje, 1996

SII.0052 tentang mutu dan cara uji agregat beton syarat agregat halus atau pasir menyatakan bahwa : modulus halus butir 1,5 sampai 3,8, kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5 %, kadar zat organik

dalam pasir diketahui dengan mencampur campuran pasir air dan natrium sulfat 3%. Kadarnya baik jika warna larutan lebih muda daripada warna standar, kekerasan butiran pasir kurang dari 2 kali kekerasan pasir

kwarsa, kekekalan butiran pasir (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat, maksimum 15 %).

Agregat kasar berdiameter lebih besar dari 4,80 mm, berasal dari batu alam (kerikil atau batu pecah) atau agregat buatan. Kekerasan agregat berpengaruh pada kuat desak beton karena 75% dari volume beton diisi oleh agregat. Faktor pemilihan agregat ialah : permukaan dan bentuk agregat, dan gradasi agregat

c. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun beton, yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan melumasi butiran agregat agar mudah dikerjakan, dicetak, dipadatkan dan, diangkut. Proses hidrasi memerlukan air sejumlah 25% dari berat semen. Penambahan air yang berlebihan dapat mengurangi kekuatan matrik, karena berpori sehingga kuat desak lebih kecil, serta *bleeding*. Syarat air untuk beton adalah air yang menghasilkan kuat tekan beton lebih dari 90% dari kuat tekan beton dengan air suling (Tjokrodimuljo, 1996).

2. Bahan Tambah

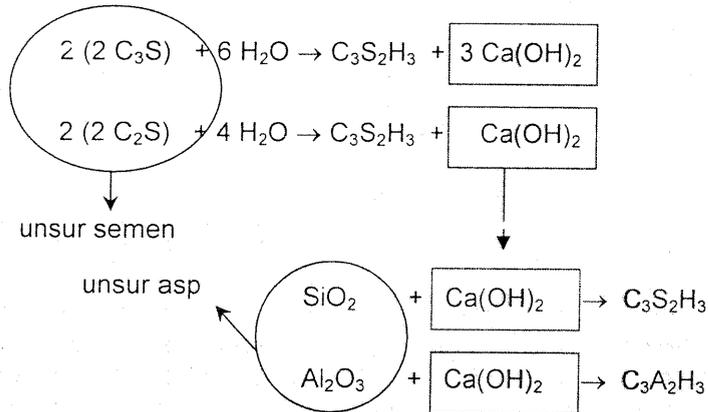
Bahan tambah ialah bahan selain air, semen, agregat, yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum atau selama pembuatan. Penambahan diperlukan untuk mengubah sifat beton segar atau setelah mengeras. Berbagai jenis bahan tambah misalnya jenis : A pengurang kadar air, B berfungsi memperlambat waktu ikat, C dipakai

untuk mempercepat waktu ikat, D dipakai mengurangi air tetapi memperlambat waktu ikat, E untuk mengurangi air dan mempercepat waktu ikat, F untuk pengurang kadar air tinggi, G untuk pengurang kadar air tinggi dan memperlambat waktu ikat, dan bahan tambah pembentuk gelembung udara dalam beton ASTM C 260.

Abu sampah organik, dari sampah organik menjadi abu melalui pembakaran akan menghilangkan bahan organik dan hanya tersisa abu yang mengandung silika. Hal ini bisa jadi identik dengan pembakaran sekam padi untuk mendapatkan abunya sebagaimana yang dilakukan Widjaja (1999). Perlakuan panas pada silika dapat mempengaruhi bentuk struktur, kehalusan, dan keaktifan abu. Sampah organik akan kehilangan kandungan air pada suhu 100°C, suhu 350°C kehilangan berat lebih lanjut dan terbakar, kehilangan berat terbesar pada suhu 400°C-500°C, bentuk silika masih *amorph*. Kenaikan suhu terus menerus akan merubah bentuk *amorph* menjadi *crystalite*, dan ke bentuk *tridymite*. Bila suhu bakar mencapai 800°C akan terbentuk kristal silika yang tidak dapat bereaksi. Jika alkali dalam abu menguap, maka abu tidak akan meleleh sampai suhu 1700°C. Lama pembakaran ikut pula menentukan terbentuknya kristal, suhu 900°C selama 1 jam masih memberikan bentuk tak beraturan (*amorph*), lebih dari 5

menit pada 1000°C akan membentuk kristal (Metha dalam Swamy, 1986). Kapur bebas keluar dari beton melewati pipa kapiler (pori) beton, kemudian berikatan dengan silika amorph dari asp

membentuk C-S-H bersifat padat, keras akan mengisi pipa kapiler, sehingga beton lebih padat, kedap air, dan mutu lebih tinggi. Mekanisme reaksi silika dalam beton (Swamy, 1985) :



3. Kekuatan tekan paving stone

Kuat tekan paving stone dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor air semen (fas), kepadatan, umur, jumlah semen, jenis agregat. Nilai kuat tekan ditentukan oleh nilai beban mesin uji P dibagi dengan luasan paving stone yang ditekannya (Murdock, 1986).

METODE

Sampah rumah tangga atau pasar dikumpulkan di tempat pembuangan sampah sementara. Sampah yang dimaksud dalam penelitian ini adalah sampah organik seperti dedaunan, ranting/dahan, yang mudah dikeringkan dan dibakar, selanjutnya disebut sampah organik. Kulit nangka, kulit durian, wortel busuk, buah-abuahan busuk, dan sejenis tidak dipakai. Sampah organik diambil, kemudian dibakar dalam tungku dengan satu kompor-tekan dan berbahan bakar

minyak tanah. Kapasitas tungku sebanyak 14 kg sampah organik atau sekitar 1m³ sampah organik basah. Sampah organik dijemur di lahan terbuka, agar kering oleh sinar matahari selama 2 hari dari jam pagi sampai sore.

Selanjutnya sampah organik dibakar dalam tungku. Beberapa saat kemudian sampah organik di bagian bawah tungku terbakar, ditandai dengan kepulan asap putih. Selanjutnya diaduk dengan tongkat pengaduk panjang, agar sampah di bagian atas mendapatkan kesempatan terbakar pula. Pengadukan ini dilakukan sesering mungkin tanpa mengukur waktu, selama indikator *thermocouple* belum menunjuk 500°C (Saad, M. Et al., 1996). Lama pembakaran dari suhu kamar sampai dengan 500°C kurang lebih 60-90 menit, 105 menit berikutnya diupayakan untuk menjaga kestabilan panas.

Kestabilan panas 500°C dilakukan dengan mengatur nyala kompor, menutup sisi atas tungku, diteruskan dengan mengatur pemberian udara (oksigen) melalui kipas motor listrik yang diletakkan di sisi samping tungku bawah. Oksigen akan mengalir ke dalam bara sampah organik melalui pipa berdiameter 120 mm di poros tungku yang bermuara di lubang penutup atas. Kemudian kompor dimatikan setelah semua sampah organik terbakar merata, menutup lubang angin bawah, lubang di bawah dan cerobong seluas kira-kira 2,5 cm² dibiarkan terbuka.

Abu sampah organik berwarna abu-abu diperoleh setelah pendinginan selama 18-24 jam. Pengambilan abu hasil pembakaran sampah organik kurang dari 18 jam tidak menguntungkan, walaupun tampak pada sisi atas tak berapi namun di bagian tengah masih membara. Abu yang membara jika berhubungan langsung dengan udara menjadi arang (butiran abu berwarna hitam) yang kurang bermanfaat pada matrik (Junaedi, 1998), karena kadar silika amorf kecil. Butiran abu yang berwarna abu-abu dikumpulkan, dan butiran yang

berwarna hitam tidak dipakai sebagai bahan tambah pada campuran *paving stone*. Warna abu-abu menandakan ada kandungan silika amorf dalam butiran abu (Swamy, 1986).

Pemakaian mesin giling pada butiran abu hasil pembakaran sampah organik dilakukan agar butiran lebih kecil, seterusnya butiran abu disaring dengan ayakan nomer 200 (1 inch² memiliki 200 lubang) sama dengan gradasi butiran semen (Widjaja, 1999).

Semen tipe I produksi Semen Gresik curah, pasir, abu batu, dan abu sampah organik ditimbang dengan perbandingan berat 120kg : 360kg : 360kg : 12kg, dimasukkan ke dalam *mixer* kering melalui *belt conveyor*. Campuran kering yang telah homogen dikirim ke *storage mixer*, kemudian ditambahkan air kira-kira 70 liter, semua bahan diaduk hingga homogen, selama 8 menit. Pencampuran dilakukan secara masinal di perusahaan bahan bangunan PT. Cahaya Purnama.

Tabel 4. Jumlah (*paving stone*) benda uji

Tebal (cm)	% abu sampah organik dari berat semen							Sub Jumlah
	0	10	11	12	13	14	15	
6	20	20	20	20	20	20	20	140
8	20	20	20	20	20	20	20	140
Jumlah benda uji								280

Adukan yang sudah homogen disalurkan oleh *conveyor belt* ke mesin pencetak yang berkekuatan tekan 19 kg/cm². Adukan ditekan ke dalam cetakan sesaat, kemudian tekanan dilepas, *paving stone* basah didorong keluar dari ruang cetak, selanjutnya siap

diambil. Proses pencetakan dilakukan secara otomatis. Sekali cetak mampu menghasilkan 12 *paving stone*, selama 70 detik.

Pemindahan dan pengangkatan dilakukan semi otomatis dengan bantuan tenaga

manusia. *Paving stone* di atas tatakan papan kayu setelah keluar dari mesin cetak dilakukan dirawat di ruang tertutup selama 24 jam, selanjutnya penyiraman air dengan tekanan dilakukan selama 3 kali selama 24 jam selama 7x24 jam. Langkah berikutnya *paving stone* dipindahkan ke halaman terbuka penyiraman air tetap dilakukan pada pagi dan sore hari sampai dengan umur 28 hari. Langkah pengujian *paving stone* yang dilakukan adalah berat dan kuat tekan.

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

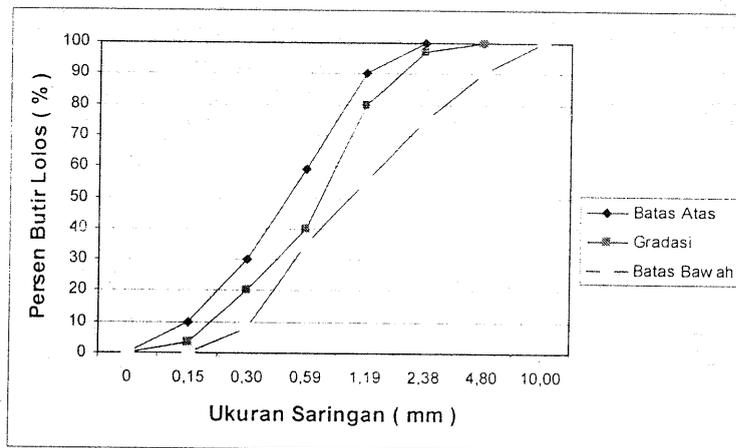
1. Pemeriksaan Pasir

- a. Pengujian kandungan lumpur menunjukkan nilai 4,364%. Pasir dari sungai Brantas di daerah Mojokerto tidak perlu

dicuci, karena nilai hasil pengujian kurang dari 5% (syarat PUBI 1982).

- b. Berat volume 1,535 gram/cm³, berat jenis pasir kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry, ssd*) = 2,439 gram/cm³, berat jenis kering oven 2,141 gram/cm³, dan nilai penyerapan air 2,68%.
- c. Kandungan zat organik, warna larutan pasir dalam NaOH 5% lebih muda dari warna standar. Dengan demikian jumlah zat kotoran organik dalam pasir lebih kecil dari standar PUBI 1982.

Pemeriksaan gradasi butiran menunjukkan pasir masuk daerah II, butiran agak kasar.



Gambar 2. Hubungan ukuran saringan dan persen butiran lolos pasir zona 2

- d. Nilai modulus halus butir (mhb) 2,85 termasuk dalam nilai

standar PUBI 1982 yaitu diantara 1,5-3,8.

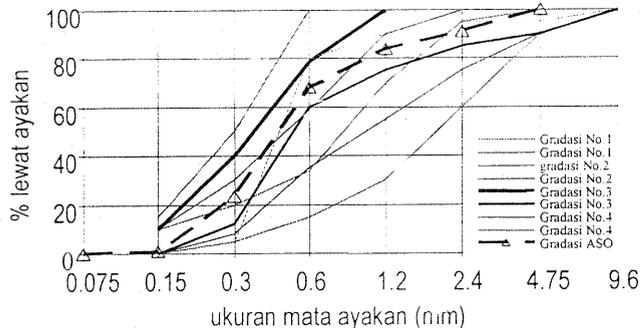
Tabel 5. Analisis Ayakan Pasir

Ayakan		Tertinggal		%Kumulatif	
No	diameter (mm)	Gram	%	Tinggal	Lolos
8	2,38	75	7,56	7,56	92,44
16	1,19	113	11,39	18,95	81,05
30	0,59	429	43,25	62,20	37,80
50	0,30	114	11,49	73,69	26,31
100	0,15	224	22,58	96,27	3,73
Pan	0,00	37	3,73	100,00	0,00
jumlah		992	100,00	285,67	

Hasil pemeriksaan menyatakan bahwa pasir sesuai dengan PUBLI 1982, persyaratan sama dengan SII.0052, jadi dapat dipergunakan sebagai agregat halus pada matrik (*paving stone*).

2. Abu batu
Tidak dilakukan pemeriksaan.
3. Abu sampah organik
Rasio butiran abu sampah organik yang berwarna abu-abu dan

sampah organik kering berkisar 0,05. Pemeriksaan gradasi butiran abu sampah organik hasil pembakaran menunjukkan bahwa butiran termasuk zone III. Untuk memperkecil butiran agar sesuai dengan gradasi semen, maka butiran abu sampah organik dihaluskan atau digiling dengan mesin, agar sesuai gradasi butiran semen yang lolos ayakan nomer 200.



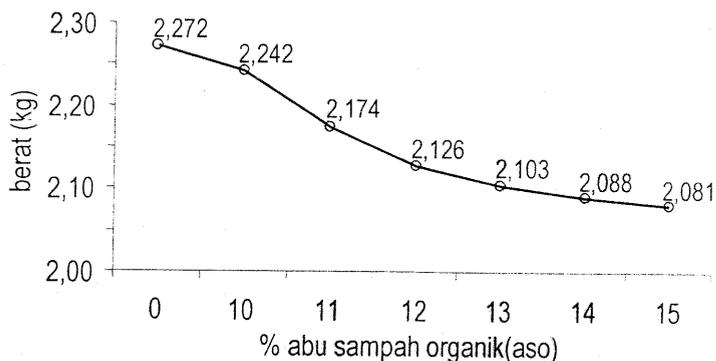
Gambar 3. Hubungan ukuran saringan dan persen butiran abu sampah organik (zona 3)

4. Pemeriksaan berat *paving stone*
Hasil pengujian berat rata-rata *paving stone* tebal 8 cm dengan penambahan abu sampah organik 10% lebih besar 68 gram atau 4%

daripada berat *paving stone* dengan penambahan abu sampah organik 11%. Selanjutnya berat *paving stone* menurun seiring dengan

penambahan abu sampah organik. Penurunan disebabkan oleh berat jenis pasir sebagai material pengisi

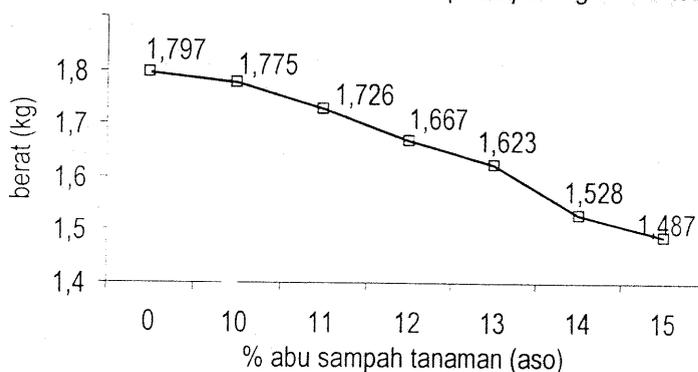
paving stone lebih besar daripada material pengisi dari abu sampah organik.



Gambar 4. Hubungan persen aso dengan berat *paving stone* tebal 8 cm

Pola hasil pengujian berat rata-rata *paving stone* tebal 6 cm hampir sama, tetapi ada kenaikan berat rata-rata pada penambahan abu sampah tanaman 14%, yang tidak sama dengan pola penurunan berat *paving stone* tebal 8 cm. Beda penurunan berat rata-rata *paving stone* tebal 6 cm dengan penambahan abu sampah tanaman 10% lebih besar 49 gram atau 3% daripada berat *paving stone* tebal dengan penambahan abu sampah organik 11%.

Butiran abu sampah tanaman atau sampah organik lebih kecil daripada butiran pasir. Kepadatan *paving stone* dengan penambahan 15% abu sampah tanaman secara teori menunjukkan kepadatan tertinggi seperti yang disebutkan oleh Widjaja (2000). Tetapi memiliki berat yang lebih ringan daripada berat *paving stone* kontrol. Pola gambar di atas menunjukkan trend menurun, hampir sama dengan pola yang ditunjukkan pada *paving stone* tebal 8 cm.



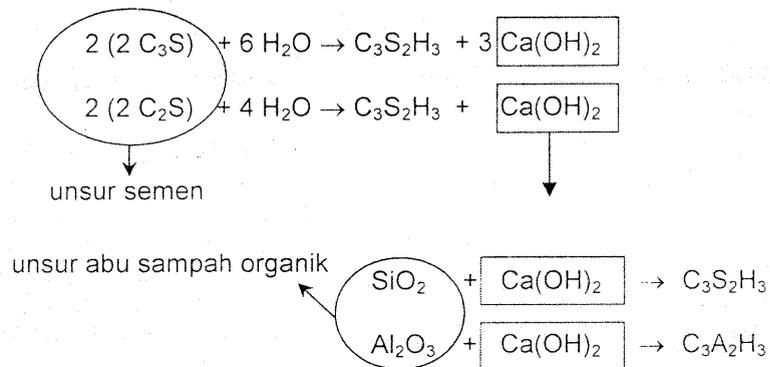
Gambar 5. Hubungan persen aso dengan berat *paving stone* tebal 6 cm

5. Kuat tekan *paving stone*

Nilai kuat tekan rata-rata diperoleh dari 20 benda uji. Kuat tekan rata-rata *paving stone* tebal 8 cm tanpa abu sampah organik (kontrol) adalah 311 Kg/cm². Kuat tekan *paving stone* dengan perbandingan bahan 1 semen : 3 pasir : 3 abu batu : abu sampah organik sejumlah 10%, 11%, 12%, 13%, 14% dan 15% dari berat semen, berturut-turut adalah 108%, 120%, 125%, 119%, 108%, dan 105% dari kontrol. Pola kurva

Gambar 6. seperti parabola, dengan puncak pada kuat tekan *paving stone* dengan penambahan 12% abu sampah organik, nilai tersebut 25% lebih besar daripada kuat tekan kontrol.

Peningkatan nilai kekuatan disebabkan oleh penambahan abu sampah organik yang optimal.

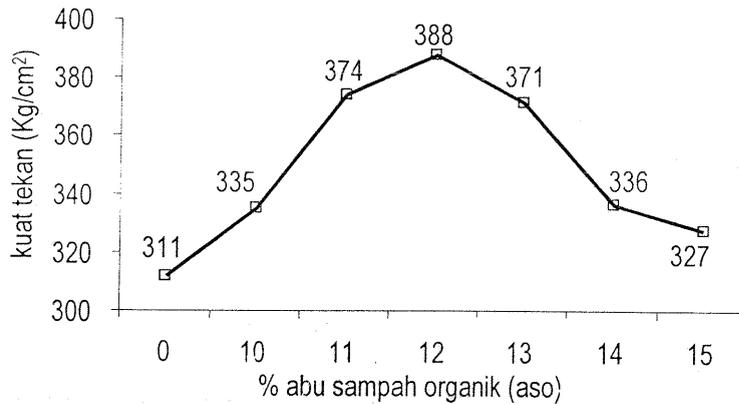


Sebagaimana mekanisme Swamy (1986) yaitu reaksi silika dioksida dari abu sampah organik dalam massa *paving stone* dengan kalsium hidroksida hasil reaksi semen dan air menghasilkan kalsium silikat hidrat yang bersifat keras (Neville, 1981). Dengan demikian rangkaian ruang kosong atau pipa kapiler yang dilalui kalsium hidroksida pada matrik normal menjadi padat. Massa matrik yang lebih padat dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi (Tjokrodimuljo, 1996).

Penambahan abu sampah organik yang melebihi nilai 12% pada campuran *paving stone* ini tidak baik, karena menghasilkan nilai kekuatan yang menurun. Penurunan kekuatan dapat

disebabkan oleh sebagian butiran abu sampah organik sudah tidak lagi bersifat sebagai bahan aditif melainkan hanya sebagai pengisi seperti pasir atau abu batu. Jika ditinjau dari sisi berat jenis nampak nilai berat jenis pasir lebih besar daripada abu sampah organik. Boleh jadi kepadatan butiran pasir lebih tinggi daripada butiran abu sampah organik.

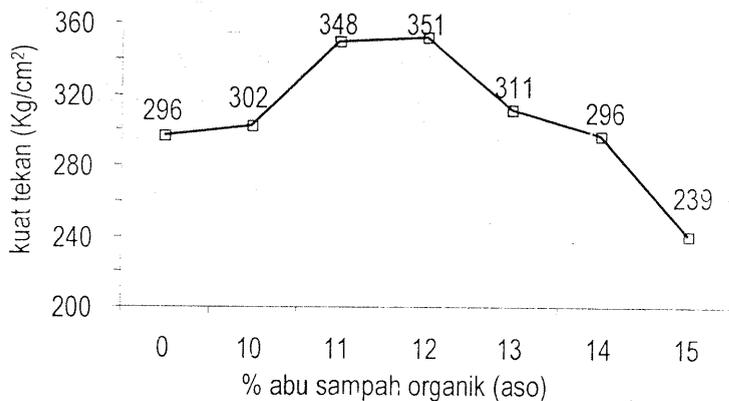
Kekuatan tekan *paving stone* tebal 6 cm rata-rata ditunjukkan pada gambar di bawah. Kuat tekan kontrol sebesar 296 Kg/cm². Selanjutnya kuat tekan rata-rata meningkat 102% (dari kontrol!) pada penambahan 10% abu sampah organik.



Gambar 6. Hubungan persen aso dengan kuat tekan paving stone tebal 8 cm

Penambahan abu sampah organik menjadi 11% menghasilkan kuat tekan rata-rata 118% (dari kontrol), atau 16% lebih besar dari penambahan 10% abu sampah organik. Kemudian pada penambahan 12% abu sampah organik pada campuran paving stone memiliki nilai terbesar yaitu 351 Kg/cm², atau 118% dari kontrol. Pada penambahan abu sampah organik berikut (13%) menghasilkan nilai kuat tekan 311 Kg/cm² atau 5% lebih besar daripada kontrol.

Berikutnya kuat tekan paving stone dengan penambahan abu sampah organik 14% sama dengan kontrol. Kuat tekan paving stone dengan penambahan abu sampah organik 15% 18% lebih kecil daripada kontrol. Pola kurva pada kuat tekan rata-rata paving stone tebal 6 cm seperti parabola juga, dengan puncak yang sama juga, yaitu pada kuat tekan rata-rata penambahan 12% abu sampah organik.



Gambar 7. Hubungan persen aso dengan kuat tekan paving stone tebal 6 cm

KESIMPULAN

1. Berat jenis abu sampah tanaman lebih ringan daripada berat jenis pasir.
2. Paving stone dengan kandungan abu sampah organik semakin tinggi memiliki berat yang semakin kecil.
3. Kuat tekan rata-rata *paving stone* tebal 8 cm tertinggi pada campuran dengan perbandingan bahan 1 semen : 3 pasir : 3 abu batu : abu sampah organik sejumlah 12% dari berat semen, yaitu 125% dari kontrol.
4. Kuat tekan rata-rata *paving stone* tebal 6 cm tertinggi pada campuran dengan perbandingan bahan 1 semen : 3 pasir : 3 abu batu : abu sampah organik sejumlah 12% dari berat semen, yaitu 119% dari kontrol.

SARAN

1. Tempat pembuangan sampah organik dipisahkan dengan sampah anorganik.
2. Pembakaran sampah organik menjadi abu yang memiliki SiO_2 dalam bentuk amorf membutuhkan kecermatan khusus, jika diproduksi dalam jumlah banyak.
3. Penyempurnaan hasil penelitian tahap awal ini sangat diharapkan untuk memanfaatkan sampah, sehingga mengubah nilai sampah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 1982, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia* (PUBI 1982), Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Bandung.
- Anonimous,-----, SII.0052 Mutu dan Cara Uji Agregat Beton, syarat agregat halus atau pasir, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Bandung.
- Neville, A.M. 1981, *Properties of Concrete*, New York: Longman Scientific & Technical,.
- Murdoch, 1986, *Teknologi Beton* - terjemahan Stefanus Hendarko, Jakarta : Erlangga
- Purnama, E. 1995, *Pengaruh Abu Sekam Padi pada Kuat Tekan Beton*, Tugas Akhir S1 JTS FT UGM, Yogyakarta
- Saad,M., Abo-El Enein,S.A., Hanna,G.B., and Kotkata,M.F., 1996, Effect of Temperature on Physical and Mechanical Properties of Concrete Containing Silicafume, *Cement and Concrete Research Vol. 26 No.5* page 669-675.

- Sahureka, T.J.M., 1998, *Pengaruh Abu Sekam Padi dalam Kekuatan Tekan Beton dan Ketahanan Asam*, Tesis S2, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Swamy, R.N., 1986, *Concrete technology and Design Cement Replacement Materials Volume 3*, Reader in Civil and Structure Engineering, University of Sheffield.
- Tjokrodilimo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.
- Widjaja, A., 1999, *Karakteristik Beton Normal dan Beton dengan Abu Sekam Padi Pascabakar*, Tesis S2, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Wahyudi Yusuf, 1999, *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi pada Kuat Tekan, Abrasi, Ketahanan Klorida dan Permeabilitas Beton dan Mortar*, Tesis S2, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Zhang, M.H. and Malhotra, V.M., 1996, *Rice Husk Paste and Concrete Some Aspects of Hydration and Microstructure of Interfacial Zone between The Agregat and Paste*, *Cement and Concrete Research*, Vol. 26 No. 6 page 963-977.

