

LIMBAH BUBUR KERTAS UNTUK PAPAN BETON

Andang Widjaja

Jurusan Teknik Sipil FT UNESA Jl. Ketintang, Surabaya. Telp/fax 0318299342. E mail : andwidj@yahoo.com

Abstract

This paper is aimed to understand the properties of concrete panel containing paper sludge as sand replacement. The control mixture is composed without paper sludge. The other mixtures were produced by replacing the coefficient of sand content, gradually by 0.25, so that the total are 12 mixtures. All the sand for the final mixture was replaced by paper sludge. The mixtures were produced using mechanic mixes to achieve homogenous mixtures before cast in 200 mm x 100 mm x 50 mm steel frame. After 21 hours keep in the steel frame, the samples were then cured in water for 3 days, followed by water sprayed twice a day, for 24 days. The results of the test indicated that the concrete panel containing paper sludge is lighter then the control mixture, higher water absorbtion and higher thermal coefficient. Two types of sand replacement comply with S11-0797-83 in term of water content. However, no types of modified mixture comply with S11-0797-83 in terms of density and flexural strength.

Keywords:

concrete panel, flexure strength, paper sludge, water absorbtion

PENDAHULUAN

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang kemungkinan limbah bubuk kertas sebagai bahan bangunan yaitu papan. Pemanfaatan limbah sekam padi untuk papan semen (<http://www.pu.go.id/balitbang/webbalprep/ttg.Asp?idb=97>, 2006), limbah ampas tebu untuk papan partikel, kertas bekas untuk papan semen dan bahan pengisi (<http://www.pemanfaatanlimbah>, 2006), limbah serat tebu, limbah sawit block, dan alang-alang dapat digunakan sebagai bahan papan atau panel dinding bangunan rumah sederhana (<http://www.papanpanel.com>, 2006). Pemanfaatan tersebut bertujuan untuk kesejahteraan masyarakat Suhendro B. (2003).

Kertas yang dipergunakan untuk sarana tulisan ini berbahan dasar *pulp*, serat tebu, atau serat bambu, atau serat pohon pinus. *Paper sludge* atau bubuk kertas berasal dari limbah pengolahan serat pulp menjadi kertas, mengandung mineral seperti kaolinite dan kalsium karbonat. Mineral tersebut berfungsi sebagai pelapis di permukaan kertas agar halus. Besar kandungannya tergantung jenis kertas, pada umumnya 5 g/m² – 20 g/m² (Editing, 1985).

PT. Adiprima Suraprinta dari Jawa Pos Group yang berkedudukan di Legundi Gresik memproduksi kertas dari kertas bekas. Bahan baku diproses menjadi bubuk kertas, selanjutnya dipilah, warna putih diproses sebagai kertas, sedangkan limbah berwarna abu-abu karena warna tinta dibuang. Jumlah limbah bubuk kertas kira-kira 250 ton/hari. Unsur-unsur yang terkandung dalam bubuk kertas disebutkan dalam Tabel 1. (Irawan B., 2006).

Tabel 1. Unsur dalam Bubur Kertas.

Nama unsur	Berat (gram)	Satuan (ppm)
Mercury, Hg	0,000008	0,032
Plumbum, Pb	0,004339	17,356
Cadmium, Cd	0,000219	0,876
Chromium, Cr	0,002138	8,552
Zinc, Zn	0,0126635	50,654
Phospate, PO ₄	0,00001125	0,045
Sulfat, SO ₄	0,00	0,00
Chlorida, Cl	0,00	0,00

sumber: PT Adiprima Suraprinta (2006)



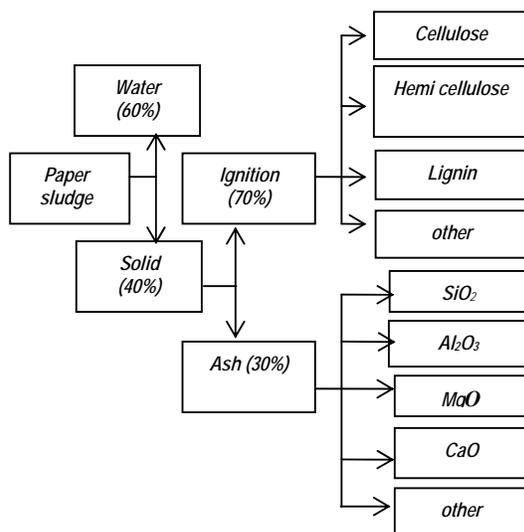
Gambar 1. Bubur kertas di PT. Adiprima Suraprinta

Irawan B. (2006) menyatakan bahwa di tahun 2006 terdapat 270 penerbit pers nasional dengan kebutuhan kertas sekitar 13.047.895 eksemplar per hari. Jumlah penerbit pers di Propinsi Jawa timur ada 20 perusahaan, dengan kebutuhan kertas koran sekitar 2.431 ton per tahun. Kebutuhan tersebut dipenuhi oleh PT. Adiprima Suraprinta dengan kapasitas produksi 90.000 ton per tahun. Jawa Pos memproduksi surat kabar sekitar 0,9 juta eksemplar per hari dengan jumlah kebutuhan kertas 1.322,5 ton per tahun. Kota Surabaya mendapat bagian 8000 eksemplar per hari dengan kebutuhan kertas 160 kg,

sekitar 6530 exemplar untuk pelanggan tetap dan sisanya dijual bebas.

Perusahaan industri kertas lain seperti Pindo Deli II memproduksi bubur kertas basah 1.500 ton/bulan, dan 1000 ton/bulan oleh Pindo Deli I. Jumlah tersebut dapat dimanfaatkan untuk bahan batubara yang ekuivalen dengan 900 ton/bulan. (<http://www.energyefficiencyasia.org>, 2006).

Bubur kertas (bk) tersusun atas 60% air dan sisanya berbentuk padat (Ishimoto, 2000). Selain itu, abu bubur kertas mengandung kaolinit dan kalsium karbonat. Pembakaran pada suhu 1.223-1.373° K menghasilkan abu aluminium silikat amorf, jika bereaksi dengan alkali akan mengkristal, berubah menjadi zeolit. Zeolit sebagai bahan *microporous material* yang mampu memperkuat permukaan beton dari serangan asam dengan mensubstitusikan 10% dari semen.



Gambar 2. Komposisi Bubur Kertas (Ishimoto, 2000)

Pemanfaatan limbah bubur kertas selama ini hanya dipakai sebagai urugan tanah di lokasi pabrik, serta lokasi permukiman warga di sekitar pabrik di Legundi Gresik, demikian juga halnya di Wisconsin (Naik, Tarun R. dan Kraus, Rudolph N., 2007, Kortnik Joze, 2007, Garrett G. David, Principal P.G., dan Richardson G.N. & Associates, 2007)

Tay, J.H. (1987) memanfaatkan limbah bubur kertas untuk bahan bangunan bata. Kemudian dari limbah *sewage sludge ash* untuk bahan bata telah dilakukan oleh Lin, D.F., dan Weng, C.H. (2001), selanjutnya Rouf Abdur Md. dan Hossain Delwar Md. (2006) menyatakan bahwa bata dari lumpur *arsenic-iron* memiliki kekuatan tekan 20-80% dari kekuatan normal yaitu 800 kg/cm², dan berdasarkan *toxicity characteristic leaching procedure* (TCLP) tes

dinyatakan bahwa kandungan arsenik dalam bata tergolong belum membahayakan.

Lumpur dari kolam pengolahan limbah *copper slag* dan limbah lempung terowongan dapat dijadikan agregat beton yang ringan (50% dari berat normal). Kuat tekan beton dengan agregat tersebut antara 31,0 dan 38,5 N/mm², besar konsentrasi unsur beracun masih di bawah standar *World Health Organization* (Tay, J.H. Show, K.Y. dan Hong, S.Y., 2002). Kuat tekan mortar dengan bubur limbah *phosphate* semen dan abu terbang 95% dari kontrol (Pinarli Vedat, Karaca Gizem, Garay Salihoglu, Salihoglu Nezhil Kamil, ----). Tarun R. Naik, dan Thomas S. Friberg dan Yoon-moon Chuna (2003) mencampurkan limbah serat bubur kertas dalam campuran beton menghasilkan kuat tarik dan kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal. Kemudian Wajima Takaaki, et.al.(2004) mengatakan bahwa *paper sludge* setelah dibakar mengandung unsur Ca dalam jumlah tinggi dalam bentuk *anorthite* (CaAl₂Si₂O₈) dan *gehlenite* (Ca₂Al₂SiO₇), unsur tersebut dapat meningkatkan kekuatan mekanik beton. Gallardo Ronaldo S., dan Adajar Mary Ann Q. (2006) mengungkapkan bahwa penggantian bubur kertas 5-10% memperbaiki karakteristik beton.

METODE

Perbandingan bahan papan dalam berat (kg) terdiri atas campuran untuk papan tanpa bubur kertas (papan kontrol) yaitu (a) 1 semen (sm) : 3 pasir (ps) : 0 limbah bubur kertas (bk) : 3 kerikil (kr) : 0,7 air. Perbandingan ini menyesuaikan komposisi papan beton yang telah diproduksi UD. Wijaya di Driyorejo Gresik. Perbandingan berikutnya dalam Tabel 2. dengan penggantian sejumlah pasir oleh bubur kertas (*replacement*), nilai sm, kr, dan air sama dengan nilai perbandingan papan kontrol.

Tabel 2. Komposisi bahan papan

kode	ps	bubur kertas	ps (%)	bubur kertas (%)
a	3	0	100	0
b	2.75	0.25	91.67	8.33
c	2.5	0.5	83.33	16.67
d	2.25	0.75	75	25
e	2	1	66.67	33.33
f	1.75	1.25	58.33	41.67
g	1.5	1.5	50	50
h	1.25	1.75	41.67	58.33
i	1	2	33.33	66.67
j	0.75	2.25	25	75
k	0.5	2.5	16.67	83.33
l	0.25	2.75	8.33	91.67
m	0	3	0	100

a : campuran papan tanpa bubur kertas (kontrol)

Penambahan bubuk kertas sebagai pengganti sebagian pasir dalam campuran dilakukan dengan merendamnya dalam air lebih dahulu, selanjutnya bongkahan bubuk kertas diaduk sampai butiran-butiran bergradasi sama seperti bubuk, kemudian diangin-anginkan selama 3 jam, agar kondisi bubuk kertas jenuh kering muka (*saturated surface dry-ssd*). Dengan demikian diharapkan air dalam campuran sebesar 0,7 dari berat semen tidak diserap oleh butiran bubuk kertas.

Tahap berikutnya kerikil dan pasir yang sudah tercuci dan *saturated surface dry* dimasukkan ke dalam ruang campur, diikuti oleh semen dan air. Selanjutnya mesin pencampur yang digerak oleh motor listrik dijalankan selama 8 menit, sehingga adukan homogen. Penuangan beton segar ke dalam cetakan ukuran panjang 200 mm lebar 100 mm dan tebal 50 mm, kemudian dibiarkan selama 24 jam. Dimensi spesimen berukuran 200x100x50 mm³. Ada 13 jenis campuran, setiap campuran terdiri atas 11 papan beton, jadi jumlah papan keseluruhan 143 buah.

Setelah papan beton dilepas dari cetakan, direndam dalam air selama 3 hari, tanpa mengukur pH air. Selanjutnya benda uji diangkat dari rendaman, diletakkan dalam ruang terlindung dari sinar matahari. Penyiraman dengan air pada papan dilakukan pada pagi dan sore hari sampai dengan umur 28 hari.

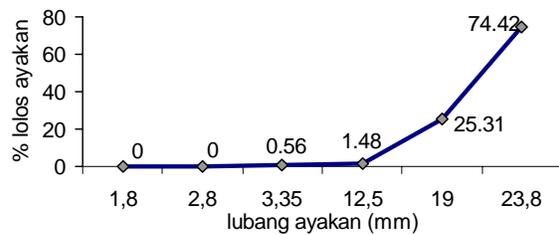
Pemeriksaan pada material limbah bubuk kertas adalah berat jenis, modulus kehalusan butir, dan penyerapan air. Kemudian pengujian yang dilakukan pada papan yaitu: pengamatan ukuran (visual), penyerapan air, berat per volume, rembesan air, serta kuat lentur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Jenis dan Modulus Kehalusan Butir Bubuk Kertas

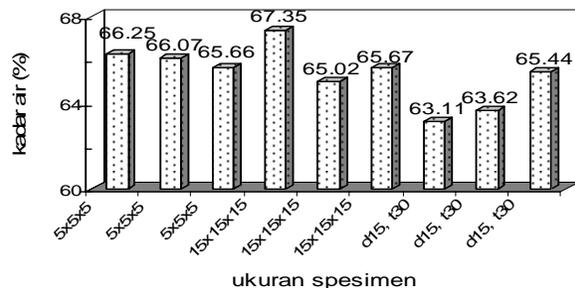
Pemeriksaan berat jenis bubuk kertas dalam keadaan jenuh kering permukaan menunjukkan hasil sebesar 1,24 gram/cm³, sedangkan dalam keadaan kering oven sebesar 0,47 gram/cm³. Analisis ayakan bubuk kertas yang diambil dari tempat penampungan pabrik dalam kondisi basah, menunjukkan bahwa modulus kehalusan butir sebesar 3,98. Jumlah terbanyak dari butiran tertinggal di ayakan sebesar 74,69% dari keseluruhan berat berdiameter lebih dari 19,0 mm.

Penggumpalan antar butiran bubuk kertas dalam susunan ayakan terjadi karena getaran motor listrik yang menggerakkan ayakan mempengaruhi butiran-butiran pada kondisi basah saling menempel dan melekat.



Gambar3. Analisis ayakan bubuk kertas

Penyerapan Air Bubuk Kertas



Gambar 4. penyerapan air (%) pada bubuk kertas

Kadar air rata-rata bubuk kertas dari 3 bentuk spesimen 66,03%, 67,7%, dan 64,06% dari kubus a 5cm x 5cm x 5cm, kubus b 15cm x 15cm x 15cm, dan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm (d15, t30). Penyerapan air rata-rata hingga 65,35% menandakan bahwa bubuk kertas memiliki sifat menyerap air. Nilai rata-rata tersebut lebih tinggi 6,535 % dari pada kadar air bubuk kertas oleh Ishimoto (2000). Salah satu penyebabnya adalah karakteristik bubuk kertas yang berbeda. Atau bisa jadi sama yaitu sama-sama dihasilkan dari limbah produksi kertas yang berbahan baku kertas bekas, tetapi kandungan unsur dan besar butiran berbeda.

Pengamatan Visual Papan

Pengamatan visual papan beton 20 x 10 x 5 cm³ tanpa dan dengan bubuk kertas pada umur 32 hari, menunjukkan bahwa permukaan papan rata, rusuk-rusuk relatif tajam dan siku, tidak retak. Permukaan papan beton dengan perbandingan berat pasir dan bubuk kertas 1,25: 1,75, sampai dengan jumlah bubuk kertas maksimum dan pasir minimum (0 ps:3 bubuk kertas) tampak butiran bubuk kertas yang timbul ke permukaan papan. Warna papan beton abu-abu, sedangkan warna lebih tua tampak pada papan beton kontrol. Ukuran papan beton menyusut pada campuran dengan 0ps:3bubuk kertas yaitu 19,98x9,92x4,94cm³, meskipun dimensi menyusut tetapi tidak lebih dari 1%. Sesuai dengan Standar Industri Indonesia SII 0797-83 menyatakan bahwa toleransi panjang, lebar,dan tebal berturut-turut 5 mm, 5 mm, 1,0 mm.

Bubur kertas yang diambil dari tempat pembuangan limbah di pabrik setelah dicetak dalam silinder baja diameter 15 cm tinggi 30 cm dalam ruang terlindung matahari selama 1x24 jam, ternyata belum mampu berdiri tegak seperti layaknya silinder beton. Hal ini disebabkan kandungan air dalam massa bubur kertas dalam silinder baja masih tinggi, dan ikatan antar butiran lebih kecil dari berat butiran. Setelah 4x24jam dalam cetakan silinder, bubur kertas berbentuk silinder dapat berdiri dengan tinggi 29,41cm. Permukaan silinder bubur kertas relatif lebih keras, kandungan air berkurang. Pengukuran pada 3 silinder bubur kertas umur 210 hari, menunjukkan, nilai rata-rata tinggi berkurang 13,2%, diameter berkurang 6,7%, volume berkurang 24,33%, dan berat berkurang 66,895% dari semula.



Gambar 5. Spesimen papan beton

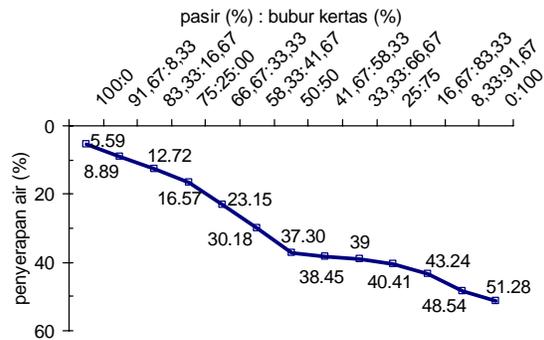
Posisi silinder tampak sudah tidak vertikal, ada bagian yang masuk ke dalam seperti lekuk pinggang, demikian juga permukaan alas bawah dan atas tidak rata. Selain itu bau silinder bubur kertas sangat menusuk hidung (tidak sedap). Pada beberapa bagian permukaan silinder setelah 2 x 7 hari mulai ditumbuhi jamur yang berwarna biru gelap hampir hitam.

Penyerapan Air Papan

Sumbu ordinat pada gambar di bawah sengaja diletakkan di sisi atas dengan tujuan untuk memberikan dan memudahkan dalam penilaian, sifat “dapat dipakai (menguntungkan)” jika arah kurva naik kekanan, sebaliknya tidak menguntungkan jika arah kurva turun kekanan.

Papan beton dengan campuran bubur kertas mempunyai daya resap air yang tinggi, bila dibandingkan papan beton tanpa campuran bubur kertas (kontrol). Pemeriksaan kadar air dilakukan pada umur benda uji 39 hari. Penyerapan air 5,59 % ditunjukkan oleh papan beton kontrol. Nilai penyerapan air papan beton dengan perbandingan ps dan bubur kertas 91,67%:8,33%, dan

83,33%:16,67% menjadi 1,6, dan 2,3 dari nilai kontrol. Ketiga jenis campuran papan tersebut telah memenuhi SII 0797-83, yang menyebutkan bahwa kadar air maksimal 14 %. Seterusnya nilai penyerapan air bertambah besar yaitu 2,97, 6,68, 7,23, dan 9,18 dari kontrol, pada perbandingan ps dan bubur kertas 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, dan 0%:100%.

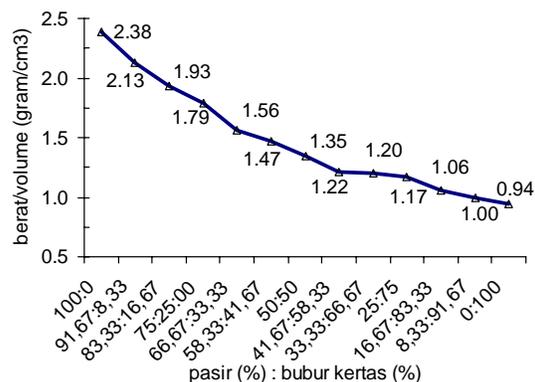


Gambar 6. Hubungan perbandingan berat pasir:bubur kertas dan penyerapan air

Trend kurva pada Gambar 6. memperlihatkan bahwa semakin banyak penambahan bubur kertas yang dicampurkan pada pembuatan papan beton, mempertinggi nilai penyerapan air. Kenaikan tersebut dikarenakan bubur kertas menyerap air. Selama papan tidak dalam proses perawatan yaitu 39-28=11 hari, terjadi penguapan air yang belum terikat secara kimia dalam papan beton. Lapisan CSH yang keras terbentuk oleh ikatan semen, air, dan agregat, belum mampu melindungi seluruh butiran bubur kertas dalam kesatuan bentuk papan (Neville, 1982). Hal ini telah ditegaskan oleh Ishimoto (2000) bahwa bubur kertas terdiri atas 40% padat dan 60% air.

Berat Per Volume Papan

Pengujian selanjutnya adalah berat per volume, yaitu hasil perbandingan nilai berat papan uji dalam gram dan volume yang diketahui dengan mengukur dimensi papan.



Gambar 7. Hubungan perbandingan berat pasir : bubur kertas dan berat/volume

Trend kurva pada Gambar 7. memiliki pola yang hampir sama dengan Gambar 6. Berat per volume rata-rata tertinggi pada papan beton tanpa bubuk kertas (3ps:0bk atau 100%ps:0%bk) yaitu 2,38 gram/cm³. Nilai berat/volume menurun menjadi 75,24%, 56,67%, 49,27%, dan 39,52% dari nilai papan kontrol pada papan dengan 75% ps : 25% bk, 50%ps:50%bk, 25%ps : 75%bk, dan 0%ps:100%bk.

Berat papan beton tanpa bubuk kertas sebesar 2381 gram, sedangkan berat papan dengan bubuk kertas tanpa ps sebesar 923 gram; Beda kedua nilai tersebut cukup besar 1458 gram. Volume papan tanpa bubuk kertas sebesar 1000 cm³, sedangkan dengan bubuk kertas tanpa pasir yakni 975,2 cm³, lebih kecil 24,8cm³.

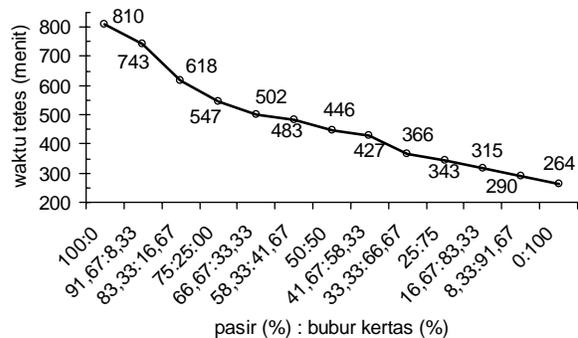
Semakin banyak bubuk kertas yang dicampurkan pada papan beton maka semakin kecil nilai berat/volume, jadi papan beton semakin ringan. Penambahan bubuk kertas yang disertai pengurangan pasir dalam papan beton menunjukkan nilai berat panel yang semakin kecil. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh faktor penyusun, salah satunya adalah berat jenis. Berat jenis pasir dan kerikil sekitar 2,1-2,2 gr/cm³ lebih besar daripada berat jenis bubuk kertas 1,24 gr/cm³.

Perawatan disiram air dilakukan pada umur 7 sampai 28 hari, selanjutnya papan uji diletakkan dalam udara ruang yang terlindung dari sinar matahari. selama papan tidak dalam proses perawatan yaitu 41-28=13 hari, terjadi penguapan air dalam papan beton, sehingga berat papan berbahan bubuk kertas relatif lebih ringan. Penguapan terjadi karena permukaan papan yang berbahan bubuk kertas berpori. Hal ini diperkuat oleh permukaan papan yang dipenuhi butiran-butiran bubuk kertas.

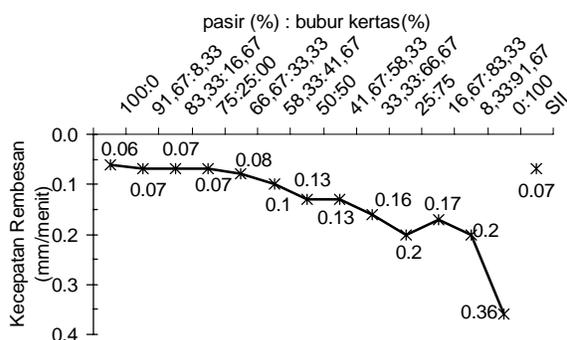
Sifat keras yang dimunculkan oleh ikatan unsur semen C₃S (trikalsium silikat) dan C₂S (dikalsium silikat) dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang bersifat keras dan padat (Neville, 1982). Kekerasan dan kepadatan yang ditimbulkan oleh CSH belum mampu melapisi seluruh permukaan panel beton. Tetapi uji kekerasan permukaan panel dilakukan secara sangat sederhana, yaitu menggoreskan ujung logam paku ke permukaan papan. Hasil penggoresan paku menunjukkan bahwa kekerasan permukaan semakin menurun pada papan dengan campuran yang menggantikan ps dengan bubuk kertas semakin banyak.

Kecepatan Rembesan Papan

Pengujian rembesan pada papan dengan berbagai perbandingan berat pasir dan bubuk kertas menghasilkan kurva kecepatan rembesan seperti pada gambar di atas. Nilai untuk perbandingan campuran 100%ps:0%bk memiliki nilai 0,06mm/menit, selanjutnya 0,07mm/menit pada 91,67% ps : 8,33% bk, 83,33% ps : 16,67% bk, dan 75% ps:25%bk. Nilai tersebut sama dengan nilai standar SII 0797-83 yaitu 0.07 mm/menit. Nilai kecepatan rembesan meningkat menjadi 0,08 mm/menit, pada 66,67% ps : 33,33 bk, 50%ps : 50%bk meningkat menjadi 0,13 mm/menit, pada 25%ps : 75%bk menjadi 0,2 mm/menit, serta 0,36 mm/menit pada papan bahan penyusun hanya bubuk kertas (0%ps:100%bk).



Gambar 8. Hubungan perbandingan berat pasir : bubuk kertas dan waktu tetes



Gambar 9. Hubungan perbandingan berat pasir : bubuk kertas dan kecepatan rembesan

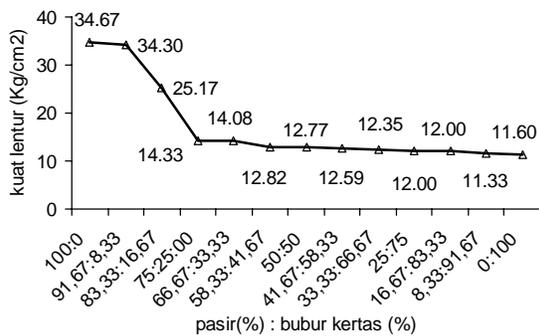
Pola kurva menunjukkan kecepatan rembesan meningkatkan pada papan yang berpasir relatif lebih sedikit dibanding kandungan bubuk kertas. Nilai kecepatan rembesan menunjukkan besarnya jarak yang ditempuh oleh air dalam media papan selama satu satuan menit. Kecepatan rembesan 0,06mm/menit pada papan tanpa bubuk kertas menunjukkan bahwa selama 1 menit air mengalir sejauh 0,06mm. Sedangkan pada papan tanpa pasir yang memiliki nilai kecepatan rembesan 0,36mm/menit. Jadi jarak

massa papan yang dialiri air relatif lebih panjang papan tanpa pasir (100%bk) daripada papan tanpa bubuk kertas (100ps). Tampaknya kepadatan massa papan 100% ps:0%bk lebih tinggi daripada papan 0%ps:100bk.

Nilai kerapatan semua komposisi papan dengan bubuk kertas lebih kecil dari 0,50-0,70 g/cm³ seperti yang diatur dalam SII 0797-83.

Kuat Lentur Papan

Gambar 10. menunjukkan bahwa kuat lentur rata-rata papan beton tanpa bubuk kertas (kontrol) tertinggi. Selanjutnya papan berbahan semen dan substitusi sebagian pasir dengan bubuk kertas menghasilkan kuat lentur rata-rata yang lebih kecil daripada kontrol, berturut-turut 98,9%, 72,6%, 41,3%, 40,6%, 37,%, 36,8%, 36,3%, 35,6%, 34,6%, 34,6%, 33,5%, dan 32,7% dari kuat lentur rata-rata kontrol. Semua nilai kuat lentur papan beton lebih kecil dari 100 kg/cm².



Gambar 10. Hubungan perbandingan berat pasir : bubuk kertas dan kuat lentur

Pola kurva pada Gambar 10 menunjukkan bahwa, semakin banyak penggantian berat pasir oleh bubuk kertas pada campuran papan semakin terjadi penurunan kuat lentur.

Papan beton yang mengandung bubuk kertas memiliki berat yang relatif lebih ringan, karena massa yang porous mudah menyerap air. Air yang terikat secara fisik dalam massa bubuk kertas lambat laun menguap akibat panas sekitar, sehingga terbentuk rongga. Rongga dalam massa papan membentuk kepadatan berkurang. Jika kepadatan berkurang, maka kekuatan papan juga menurun.



Gambar 11. Uji lentur papan

Dengan kata lain boleh juga dikatakan kerapatan massa relatif kecil (meskipun belum dilakukan pemeriksaan dengan alat yang sesuai). Kepadatan massa papan semakin berkurang, yang disebabkan oleh substitusi bubuk kertas atas pasir yang semakin banyak, berkorelasi dengan penurunan sifat mekanik beton seperti, kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur beton (Nawy, 1986).

SIMPULAN

Butiran bubuk kertas memiliki berat jenis relatif lebih ringan daripada pasir, tetapi bergradasi hampir sama dengan butiran agregat kasar. Papan berbahan butiran bubuk kertas memiliki berat yang relatif ringan.

Bubuk kertas memiliki sifat menyerap air. Sifat ini kurang menguntungkan pada campuran papan beton, karena papan yang berbahan substitusi bubuk kertas banyak sangat peka terhadap temperatur sekitar, air dalam papan mudah menguap. Air yang diperlukan oleh semen untuk berreaksi membentuk kalsium silikat hidrat bisa jadi berkurang, sehingga sifat keras terkurangi (Neville, 1982; Besari, 2007).

Papan beton dengan perbandingan berat pasir dan bubuk kertas 2,75:1,25 dan 2,5:1,5 memenuhi SII 0797-83, karena kadar air papan maksimal adalah 14 %. Tetapi berdasarkan nilai kerapatan dan kuat lentur, maka tidak satupun papan beton dengan bubuk kertas sebagai bahan pengganti pasir yang memenuhi standar SII 0797-83.

Material bubuk kertas memiliki sifat kembang susut yang relatif tinggi daripada bahan beton seperti pasir dan kerikil. Sifat kembang dan susut yang tinggi pada massa komposit seperti papan beton dengan penggantian pasir oleh sejumlah bubuk kertas memicu timbulnya retak.

Pemakaian bubuk kertas dalam papan berbahan beton diperlukan bahan lain untuk melindungi permukaan papan, agar tidak terjadi penguapan yang berlebihan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Rizal A. dan tim, Drs. Bambang Irawan M.Pd. beserta staf PT. Adiprima Suraprinta.

REFERENSI

Anonim, 1982, "Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBBI 1982)", Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Bandung

Anonim. 2001, Departemen Kesehatan R.I. "Bahan-Bahan Berbahaya dan Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia", Jakarta.

Anonim, 2006, "Hasil pengujian unsur dalam kandungan Paper Sludge", Gresik: BAPPEDALDA

Besari, Mohamad Sahari, 2007, "Review of Some Physical and Mechanical, Parameters of Concrete", *Proceeding of International Conference on Material Development in the Construction Industri November 21, 2007*, Four Season Hotel Jakarta

Dewan Standarisasi Nasional, 1991, SII 0797-83 "Mutu dan Cara Uji Papan Beton", Jakarta,

Garrett G. David, Principal P.G., dan Richardson G.N. & Associates, ----, "The Beneficial Use of Composted Paper Mill Sludge and Animal Waste for an Industrial Landfill Closure", Raleigh North Carolina

Irawan, Bambang, 2006, "Handout penjelasan tentang mekanisma produksi kertas", Gresik : PT. Adiprima Suraprinta

Ishimoto Hiroji, Takeshi Origuchi, dan Masahiro Yasuda, 2000, "Use of Papermaking Sludge as a New Material", *Journal of Materials in Civil Engineering* November 2000 pp. 310-313

Kortnik Joze, ----, "Paper Sludge Landfill Cover Barrier Stability Assessment", University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geotechnology and Mining, Askerceva 12, Ljubljana, Slovenia; Email: joze.kortnik@ntf.uni-lj.si

Naik, Tarun R. dan Kraus, Rudolph N., ----, "Development of Concrete Utilizing Paper Mill Residual Solids", Reference: CBU-1998-13

Pinarli Vedat, Karaca Gizem, Guray Salihoglu, Salihoglu Nezh Kamil, ----, "Stabilization and Solidification of Waste Phosphate Sludge Using Portland Cement and Fly Ash as Cement Substitute", Uludag University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Environmental Engineering, Bursa, Turkey.

Rouf Abdur Md., dan Hossain Delwar Md., "Effects of Using Arsenic-Iron Sludge in Brick Making", Dept. of Civil Engineering, Dhaka-1000 Bangladesh

Suhendro, Bambang, 2003, "Pengembangan Teknik Sipil-Struktur Masa Depan dan Kaitannya dengan Bidang-bidang Lain", Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Tay, J.H., Show, K.Y. dan Hong, S.Y., 2002, "Concrete Aggregates Made from Sludge-Marine Clay Mixes", *Journal of Materials in Civil* September/October 2002 Volume 14, Issue 5, pp. 392-398.

Wajima Takaaki, Kuzawa Keiko, Ishimoto Hiroji, Tamada Osamu, dan Nishiyama Takashi, 2004, "The synthesis of zeolite-P, Linde Type A, and hydroxysodalite zeolites from paper sludge ash at low temperature (80 °C): Optimal ash-leaching condition for zeolite synthesis", *American Mineralogist, Volume 89, pages 1694-1700*.

<http://www.pu.go.id/balitbang/webbal/prep/ttg.Asp?idb=97>, 2006, "Pemanfaatan limbah sekam padi untuk papan semen".

<http://www.pemanfaatanlimbah.com>, 2006, "limbah ampas tebu untuk papan partikel, kertas bekas untuk papan semen dan bahan pengisi"

<http://www.papanpanel.com>, 2006, "limbah serat tebu, limbah sawit block, dan alang-alang dapat digunakan sebagai bahan papan atau panel dinding bangunan rumah sederhana".

<http://www.energyefficiencyasia.org/>, 2006, "Installation of CFB Boiler and Use of Paper Sludge as Alternative Fuel".

<http://www.engg.upd.edu.ph/~side/pdf/MTL-005.pdf>, 2006, GALLARDO Ronaldo S., and ADAJAR Mary Ann Q. "Structural Performance Of Concrete with Paper Sludge Ash as Fine Agregates Partial Replacement Enhanced with Admixtures", *Proceeding Symposium on Infrastructure Development and the Environment, 7-8 December 2006*, SEAMEO-INNOTECH University of the Philippines, Diliman, Quezon City, PHILIPPINES

http://www.energy.gov/industry/forest/pdfs/res_solids_2007.pdf, Tarun R. Naik, Rudolph N. Kraus, "Development of Concrete Utilizing Paper Mills Residual Solids", Reference: CBU-1998-13

<http://www.sciencedirect.com/science>, Tarun R. Naik, a, Thomas S. Friberg and Yoon-moon Chuna, 2003, "Use of pulp and paper mill residual solids in production of cellucrete".