

Karakteristik Fisiko-Kimiawi (Morfologi, Higroskopisitas, pH dan Toksisitas) Panel Bangunan yang Dihasilkan dari Komposit Limbah Abu Terbang Batu Bara (*Fly Ash*), Daun-Ampas Tebu, Jerami-Sekam Padi dan Ijuk (*Palm Fiber*)

Yulianto P. Prihatmaji* dan Feris Firdaus**

*Struktur & Bahan Bangunan, Arsitektur FTSP UII, sangaji@ftsp.uui.ac.id

**Kimia Material dan Lingkungan, Pusat Sain dan Teknologi DPPM UII, fiva_izause@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang karakteristik fisiko-kimiawi (morfologi, higroskopisitas, pH dan toksisitas) panel bangunan yang dihasilkan dari komposit limbah abu terbang batu bara (*fly ash*), daun-ampas tebu, jerami-sekam padi dan ijuk (*palm fiber*). Berdasarkan hasil uji dan analisis fisiko-kimiawi kaitannya dengan morfologi secara makroskopis menunjukkan bahwa komposit panel bangunan dari berbagai macam jenis bahan baku tersebut tampak menyatu secara solid dengan ikatan kimia antar bahan yang terlibat. Bahan organik yang berupa limbah ampas-daun tebu, jerami-sekam padi, dan ijuk tampak menyatu padu dengan komponen anorganiknya berupa *fly ash* dan semen. Kaitannya dengan higroskopisitasnya, produk panel bangunan yang dihasilkan tampaknya tidak terpengaruh oleh iklim dan kelembaban di dalam maupun di luar ruang karena kadar air panel bangunan yang diuji pada hari ke-30 dan hari ke-60 relatif stabil yakni 19,65% yang berarti normal. Kaitannya dengan tingkat keasaman (pH), panel bangunan yang dihasilkan menunjukkan kondisi yang aman/tidak menyebabkan iritasi karena pH: 7-8 yang berarti tidak mengiritasi/aman. Adapun hasil uji dan analisis toksisitas *fly ash* dilakukan menggunakan indikator biologis; mencit menunjukkan harga LD_{50} : 32,915 mg/kg (bb) yang berarti relatif tidak berbahaya. Kutu air menunjukkan harga LC_{50} : 75,515 ppm (7,552%) yang berarti hampir tidak toksik dan ikan mas menunjukkan harga LC_{50} : 121,943 ppm (12,194%) yang berarti tidak toksik. Oleh sebab itu produk panel bangunan yang dihasilkan dapat dipastikan aman dikonsumsi.

Kata kunci: panel bangunan, *fly ash*, daun-ampas tebu, jerami-sekam padi, ijuk

1. Pendahuluan

Kebutuhan rumah baru di Indonesia meningkat 800 ribu unit/tahun (2004) dan total kekurangan rumah 6,2 juta unit (2003) karena penduduk bertambah (1,7% per tahun atau 3,7 juta jiwa/tahun) (Simanungkalit, 2004) dan seringnya terjadi gempa (Widodo, 2000) dan kebakaran. Kebutuhan perumahan yang dipasok masyarakat makin tak terpenuhi karena harga material cenderung naik, sehingga harga jual rumah tinggi yang dipengaruhi proses produksi (Mutaqi, 2004). Salah satunya ialah konstruksi yang terkait dengan bahan bangunan (REI DIY, 2004), sehingga alternatif bahan bangunan yang layak dan lebih murah mutlak adanya.

Rendahnya mutu bangunan beresiko terhadap gempa (Musyafa, 2000) dan kebakaran (Everson, 1994). Sebagian besar bangunan rusak oleh gempa dan kebakaran adalah rumah tinggal terutama bidang dinding (Sarwidi, 2001; 2002; Butcher, 1983)), sehingga untuk mengurangi korban jiwa dan kerusakan bangunan, maka keberadaan bangunan tahan gempa menjadi mendesak (Tanaka, 2000; Sarwidi, 2003). Strategi *building safety and security* terhadap kerusakan akibat gempa dan

kebakaran (Egan, 1978) diperlukan dengan menciptakan komponen dinding tahan api dan tahan gempa.

Bahan bangunan yang populer ialah semen/beton dan kayu, tapi riskan dari sisi lingkungan karena industri semen/beton menghasilkan emisi karbon dioksida (gas rumah kaca) dan memperluas penebangan hutan (Walhi, 2005). Bertambahnya pembangunan PLTU batubara di Indonesia meningkatkan jumlah limbah berbahaya (B3) *fly ash*, sehingga bila dibiarkan mencemari lingkungan (Ardha, 2005), tapi bila diberdayakan akan berdampak positif dan mengurangi penggunaan semen (Hardjito, 2001).

Jumlah limbah daun-ampas tebu (perkebunan dan industri gula) sangat besar (Departemen Kehutanan, 2002), juga limbah jerami-sekam padi (kegiatan pertanian terbesar dan merata), serta potensi ijuk (*palm fiber*) di Indonesia sangat besar tetapi pemanfaatannya kurang (Fauzi, 2005) sehingga nilai ekonominya sangat rendah.

Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan panel bangunan yang layak, terjangkau, tahan api dan gempa, ramah lingkungan untuk mewujudkan keamanan bangunan dan keselamatan penghuninya, dengan memanfaatkan limbah industri dan pertanian.

Berdasarkan kebutuhan dan total kekurangan rumah di Indonesia saat ini (Simanungkalit, 2004), faktor efisiensi metode membangun (Mutaqi, 2004), jumlah kerusakan bangunan rumah akibat bencana gempa bumi dan bencana kebakaran (KR, 2006; Widodo, 1996), menjadikan komponen dinding bangunan sebagai faktor yang penting untuk dibahas (Sarwidi dkk, 2004). Di sisi lain, kelimpahan limbah *fly ash* dari PLTU di Indonesia, limbah jerami-sekam padi, limbah daun-ampas tebu (Fauzi, 2005) dan kelimpahan ijuk (*falm fiber*) yang sangat besar dan belum optimal pemanfaatannya, berpotensi besar sebagai alternatif bahan produksi panel bangunan tahan api (*fire proof*) dan tahan gempa dengan teknologi tepat guna.

Pengadaan komponen dinding bangunan berupa beton dan kayu menciptakan masalah lingkungan, baik oleh penebangan hutan di Indonesia yang sangat besar, yaitu mencapai 3,8 juta Ha/tahun sejak tahun 1998 (Walhi, 2005) maupun oleh industri semen yang menghasilkan karbon dioksida (efek rumah kaca) (Konferensi Bumi Brazil, 1992; Jepang, 1997). Hal ini harus diantisipasi dengan menciptakan alternatif komponen dinding yang layak, lebih murah dan ramah lingkungan untuk memenuhi meningkatnya kebutuhan perumahan (target pemerintah 1 juta unit rumah, Kepmenkimpraswil No.139/KPTS/M/2002).

Perkembangan teknologi di bidang komposit telah menghasilkan produk komposit yang merupakan gabungan antara limbah bio dan geo. Penelitian tentang komposit geopolimer menunjukkan bahwa

karakter komposit geopolimer mempunyai sifat mekanik-dinamik dan daktilitas tinggi (Prihatmaji & Firdaus, 2007; (Firdaus *et al.*, 2006). Penelitian tentang sifat dan karakter bahan bangunan tahan gempa pada konstruksi bangunan menunjukkan bahwa dinding pengisi bersifat ringan, dapat merespon gaya gempa dan otonom dari struktur banguann (Prihatmaji, 2006; 2005; 2004).

Penelitian pemanfaatan Limbah Pertanian dan Industri menunjukkan bahwa limbah pertanian (bio : jerami-sekam padi, daun-ampas tebu, ijuk, pelepah-tanda kosong kelapa sawit, sabut kelapa) dapat terintegrasi dengan baik dengan limbah industri (geo: sludge, fly ash, bottom ash, katalis) (Prihatmaji, 2006; 2005a; 2005b; 2003; 2002; Firdaus, 2006a; 2006b; Firdaus dan Fajriyanto, 2005; Randing, 1999). Pemanfaatan Limbah Fly ash sebagai bahan bangunan menunjukkan bahwa penggunaan fly ash dapat meningkatkan sifat menaik-dinamik dan daktilitas beton serta ketahanan terhadap api (Reiner dan Rens, 2006; Ghosh dan Subbarao, 2006a; 2006b; Ardha, 2005; Khaerunisa, 2005; Kumar dan Vaddu, 2005; Heukamp *et al.* 2005; Doven dan Pekrioglu, 2005; Rebeiz dan Craft, 2004; Goh *et al.* 2003; Atis, 2002; Naik *et al.* 2002; Rebeiz dan Craft, 2002; Kovler, 2001; Koehn dan Ahmed, 2001).

Hasil penelitian Prihatmaji (2007) menunjukkan bahwa semen, jerami dan sekam padi dapat dibuat komposit dinding bangunan berkualitas tinggi. Sedangkan limbah fly ash dimungkinkan menjadiii komponen utama (95%) serat organik yang berupa selulosa (Fajriyanto dan Feris, 2006) yang hampir sama dengan kayu dengan komposisi berbeda. Olehkarena itu limbah fly ash mempunyai potensi besar dibuat komposit dinding bangunan.

Di Indonesia penelitian tentang produk komposit masih sangat terbatas, padahal bahan baku yang berupa limbah fly ash, jerami-sekam padi, daun-ampas tebu dan ijuk potensinya berlimpah. Bahkan limbah PLTU batu bara (fly ash) dan penebangan hutan menjadi problem lingkungan yang sangat serius. Oleh karena itu penelitian ini menjadi sangat penting dengan memanfaatkan limbah PLTU batu bara (fly ash) sebagai matriks dan jerami-sekam padi, daun-ampas tebu sebagai *filler* serta ijuk sebagai reinforcement dengan proses pembuatannya dilakukan secara polimerisasi. Permasalahannya adalah bagaimana menciptakan bahan komponen dinding bangunan dengan memanfaatkan limbah industri dan pertanian yang layak, tahan api dan gempa, lebih murah serta ramah lingkungan dengan teknologi tepat guna dan padat karya.

Untuk menjawab permasalahan tersebut di atas, Peneliti telah melakukan berbagai penelitian terkait sebelumnya dan secara khusus melalui penelitian ini. Peneliti akan meneliti dan mengembangkan pemanfaatan bahan limbah *fly ash*, jerami-sekam padi, daun-ampas tebu dan ijuk untuk bahan bangunan untuk menunjang pengadaan bahan bangunan, menunjang program pemerintah dalam memenuhi kebutuhan komponen bahan bangunan, kemungkinan berdirinya usaha kecil yang

memproduksi komponen bangunan, memberikan nilai tambah bagi pengelola limbah, ikut mengatasi problem industri dan lingkungan serta terciptanya lapangan kerja baru.

2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian menggunakan desain penelitian eksperimen murni di laboratorium (*true experimental research*). Penelitian yang akan dilakukan adalah produksi panel bangunan tahan api (*fire proof*) dan tahan gempa (*earthquake resistant*) dari bahan baku komposit limbah abu batu bara (*fly ash*)-limbah daun-ampas tebu-limbah jerami-sekam padi-ijuk (*palm fiber*) yang sangat besar potensinya di Indonesia. Produk panel bangunan tersebut diharapkan memiliki ketahanan tinggi terhadap api (*fire proof*) dan memiliki karakteristik mekanik-dinamik tinggi (tahan gempa) sebagai upaya peningkatan pertahanan dan keamanan pemukiman masyarakat, bangunan industri dan bangunan publik yang rawan kebakaran dan guncangan berat (gempa) khususnya di Indonesia dengan sentuhan teknologi komposit geopolimer sederhana (*applicable*) yang sehat, aman dan ramah lingkungan (*eco-friendly*).

Metode penelitiannya merujuk dan memodifikasi metode penelitian yang sudah dilakukan Peneliti Utama dan Peneliti Anggota: Prihatmaji, 2007; 2006a; 2006b, Prihatmaji, 2005a; 2005b; 2005c, Prihatmaji, 2004, Prihatmaji, 2003, Prihatmaji, 2002, Firdaus *et al.* 2006; Firdaus, 2006a; 2006b; Firdaus dan Fajriyanto, 2005. Di samping itu metode penelitian terkait yang sudah dilakukan oleh Peneliti lainnya juga diadopsi dan dimodifikasi, seperti: Bell *et al.* (2006), Reiner dan Rens (2006), Ghosh dan Subbarao (2006), Lukey dan Deventer (2005), Khaerunisa (2005), Heukamp *et al.* (2005), Doven dan Pekrioglu (2005), Ardha (2005), Lukey dan Deventer (2005), Kriven dan Bell (2004), Rebeiz dan Craft (2004), Atis (2002), Rebeiz dan Craft (2002), Kovler (2001), Randing (1999).

3. Hasil dan Pembahasan

a. Morfologi (makroskopis)

Uji morfologi makroskopis bertujuan untuk mengetahui tingkat kerapatan, kerekatan dan peleburan antara matrik, filler dan reinforcement panel dinding bangunan. Tingkat kerapatan, kerekatan dan peleburan antar komponen akan menunjukkan kualitas dan karakteristik mekanik panel bangunan yang dihasilkan. Uji ini dilakukan secara visual dengan pengambilan gambar foto penampang

melintang benda uji. Pengambilan gambar foto menggunakan kamera Nikon SLR digital 40 D dengan kualitas gambar 10 MP dan jarak fokus 2 cm.

Kondisi adonan matrik (fly ash, pc dan air) dengan komposisi 50:50 menunjukkan terjadi rekatan yang baik. Hal ini ditunjukkan dengan warna yang menyatu (pc: hijau, fly ash: abu-abu mendekati hitam) menjadi hijau keabu-abuan (grey) dan adonan dapat bercampur dengan baik. Kondisi campuran filler (sekam dan ampas yang diayak 0.5 cm) dengan komposisi 50:50 memperlihatkan terjadi campuran dengan baik.

Kondisi adonan matrik dengan filler dengan variasi komposisi menunjukkan terjadi rekatan yang baik. Hal ini ditunjukkan dengan warna yang menyatu menjadi hijau keabu-abuan dan filler tertutup dengan baik oleh matrik. Dalam kondisi matrik dan filler berumur 28 hari, kekeringan permukaan dan warna hijau keabu-abuan merata, liat dan keras. Filler tertutup dengan baik oleh matrik dan masing-masing menunjukkan fungsinya masing-masing (filler sebagai pengisi dan matrik sebagai datum).

Morfologi benda uji panel dinding bangunan dengan reinforcement ijuk saja menunjukkan bahwa ijuk dapat terekat dengan baik dalam adonan. Semakin sedikit ijuk kerapatan dan kerekatannya semakin baik. Semakin banyak ijuk kerapatan dan kerekatannya semakin berkurang. Hal ini disebabkan ijuk bersifat kalis atau anti air dan berukuran kecil, sehingga semakin banyak ijuk tingkat kerapatan dan kerekatannya berkurang (Gambar 1).



Gambar 1. Morfologi mekroskopis benda uji dengan reinforcement ijuk (searah jarum jam A1-F1)

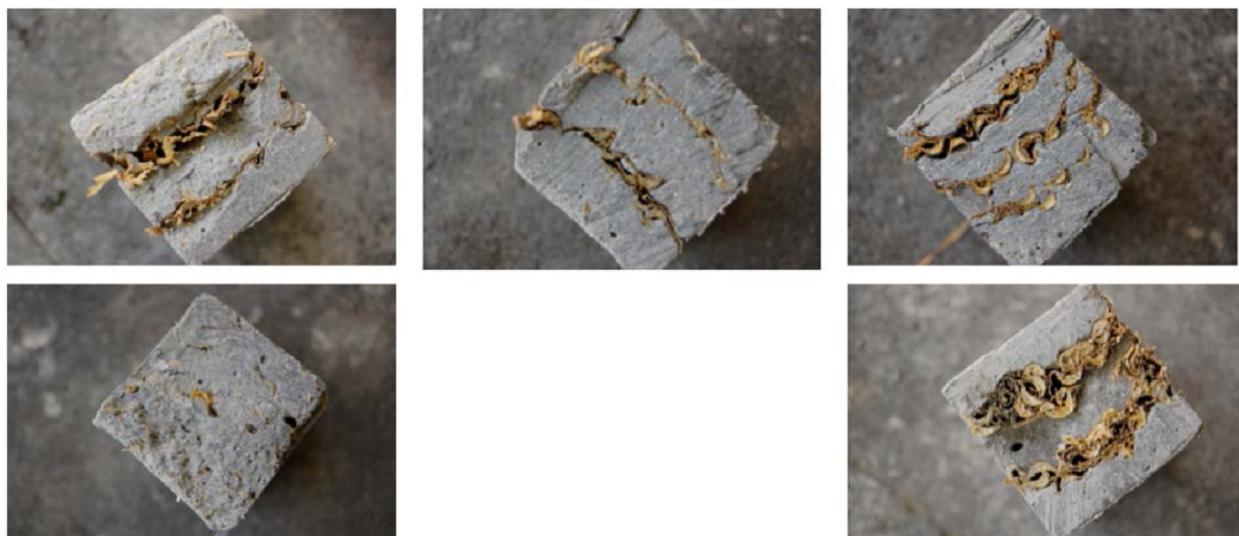
Morfologi benda uji panel dinding bangunan dengan reinforcement jerami saja menunjukkan bahwa jerami dapat terekat dengan baik dalam adonan. Jumlah jerami tidak mempengaruhi signifikan

kerapatan dan kerekatannya. Hal ini dikarenakan jerami tidak bersifat kalis atau tahan air, sehingga jerami dapat menyerap air sebagai elemen kerekatan dengan matrik dan filler (Gambar 2).



Gambar 2. Morfologi mekroskopis benda uji dengan reinforcement jerami (searah jarum jam A2-F2)

Morfologi benda uji panel dinding bangunan dengan reinforcement daun tebu saja menunjukkan bahwa daun tebu dapat terikat dengan baik dalam adonan. Semakin sedikit daun tebu kerapatan dan kerekatannya semakin baik. Semakin banyak daun tebu kerapatan dan kerekatannya semakin berkurang. Hal ini disebabkan ijuk bersifat kalis atau anti air dan berukuran besar, sehingga semakin banyak daun tebu tingkat kerapatan dan kerekatannya berkurang (Gambar 3).



Gambar 3. Morfologi mekroskopis benda uji dengan reinforcement daun tebu (searah jarum jam A3-F3)

Morfologi benda uji panel dinding bangunan dengan reinforcement ijuk dan jerami memperlihatkan bahwa ijuk dan jerami dapat terikat dengan baik. Dalam proses pengeringannya, jerami

mengalami penyusutan karena terkena beban adonan sehingga volume benda uji relatif menyusut. Rongga di dalam jerami juga mempengaruhi rekatan keseluruhan benda uji, tetapi secara keseluruhan jumlah jerami tidak mempengaruhi signifikan kerapatan dan kerekatannya. Hal ini dikarenakan jerami tidak bersifat kalis atau tahan air, sehingga jerami dapat menyerap air sebagai elemen kerekatan dengan matrik dan filler. Semakin sedikit ijuk kerapatan dan kerekatannya semakin baik. Semakin banyak ijuk kerapatan dan kerekatannya semakin berkurang (Gambar 4).



Gambar 4. Morfologi mekroskopis benda uji dengan reinforcement ijuk dan jerami (searah jarum jam A4-F4)

Morfologi benda uji panel bangunan dengan reinforcement jerami dan daun tebu memperlihatkan bahwa jerami dan daun tebu tidak dapat terekat dengan baik. Volume benda uji relatif menyusut karena massa jerami dan daun tebu relatif besar (berongga). Semakin sedikit jerami dan daun tebu, tingkat kerapatan dan kerekatan benda uji semakin baik. Semakin banyak jerami dan daun tebu, tingkat kerekatan dan kerapatan benda uji semakin berkurang (Gambar 5).



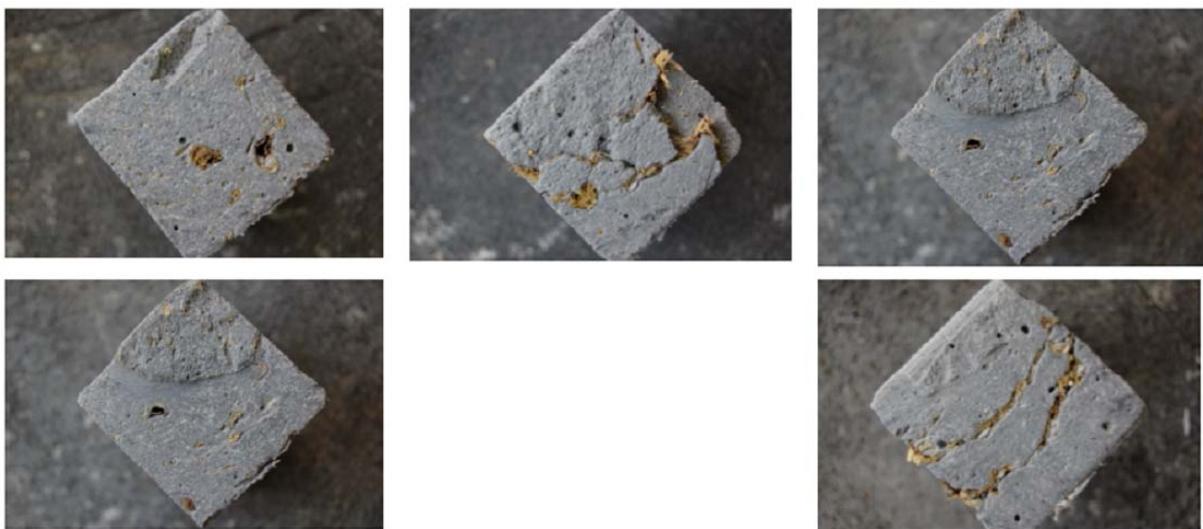
Gambar 5. Morfologi mekroskopis benda uji dengan reinforcement jerami dan daun tebu (searah jarum jam A5-F5)

Morfologi benda uji panel bangunan dengan reinforcement daun tebu dan ijuk menunjukkan bahwa daun tebu dan ijuk relatif dapat terekat dengan baik. Daun tebu dan ijuk sama-sama bersifat kalis (tahan air), hanya berbeda ukurannya. Semakin sedikit jerami, tingkat kerapatan dan kerekatan benda uji semakin baik. Semakin banyak banyak ijuk, tingkat kerekatan dan kerapatan benda uji semakin bertambah (Gambar 6).



Gambar 6. Morfologi mikroskopis benda uji dengan reinforcement daun tebu dan ijuk (searah jarum jam A6-F6)

Morfologi benda uji panel bangunan dengan reinforcement ijuk, daun tebu dan jerami menunjukkan bahwa ijuk, daun tebu dan jerami relatif tidak dapat terekat dengan baik. Daun tebu dan ijuk bersifat kalis (tahan air), sehingga dalam jumlah besar tingkat kerekatan dan kerapatan benda uji akan menyebabkan berkurang. Semakin banyak banyak ijuk, tingkat kerekatan dan kerapatan benda uji semakin bertambah (Gambar 7).

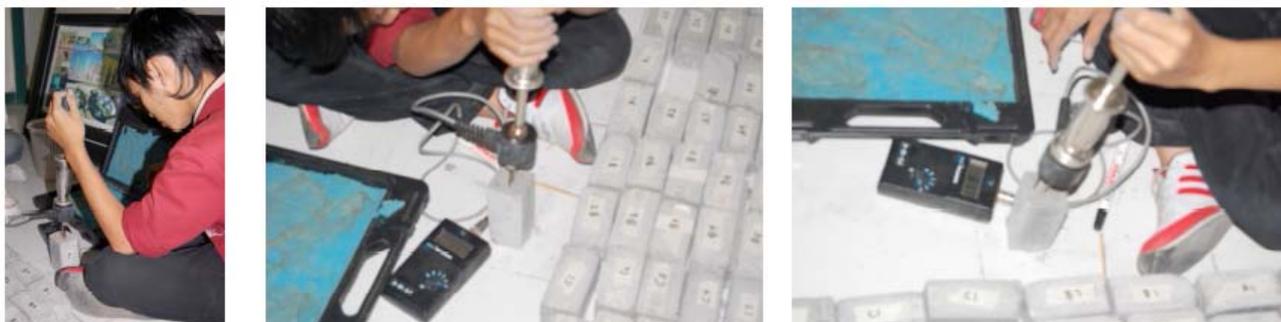


Gambar 7. Morfologi mikroskopis benda uji dengan reinforcement ijuk, daun tebu dan jerami (searah jarum jam A7-F7)

b. Toksisitas (LD_{50} dan LC_{50}), pH dan Higroskopisitas

Uji dan analisis toksisitas dilakukan menggunakan metode LC_{50} dan LD_{50} dengan indikator biologis (mencit putih kecil) yang mengacu pada PP RI No.74 tahun 2001. Pengujian menggunakan indikator mencit dilakukan secara oral dengan konsentrasi produk panel bangunan yang bervariasi. Adapun pengujian dengan indikator kutu air dan ikan mas dilakukan dengan mencampurkan produk panel bangunan ke dalam air yang terdapat kutu air dan ikan mas hidup di dalamnya. Uji dan analisis tingkat keasaman produk panel bangunan yang dihasilkan dilakukan dengan cara mengukur perubahan (Δ) pH air (aquades) sebelum dan sesudah dicampur dengan serbuk produk panel bangunan menggunakan kertas lakmus. Uji dan analisis higroskopisitas dilakukan dengan mengukur kadar air yang terkandung dalam produk panel bangunan yang dihasilkan sesaat setelah pencetakan menggunakan RH-meter. Pengukuran kadar air yang terserap ke dalam produk panel bangunan yang dihasilkan dilakukan lagi pada hari ke-30 dan hari ke-60 (kadar air sudah tetap) (Gambar 8).

Uji dan analisis tingkat keasaman (pH) produk panel bangunan yang dihasilkan dilakukan dengan menempelkan kertas lakmus (indikator pH) pada produk panel bangunan yang dibasahi dengan larutan standar (pH: 7). Pengamatan dilakukan dengan memperhatikan perubahan warna kertas lakmus setelah menyentuh permukaan panel bangunan yang dibasahi tersebut.



Gambar 8. Proses Pengujian Kadar Air Benda Uji menggunakan pH meter

Hasil uji menunjukkan bahwa untuk indikator mencit, LD - 32,915 mg/kg (bb) yang berarti bahwa produk panel bangunan yang dihasilkan relatif tidak berbahaya. Untuk indikator kutu air menunjukkan LC - 75,515 ppm (7,552%) yang berarti bahwa produk panel bangunan yang dihasilkan hampir tidak toksik. Untuk indikator ikan mas menunjukkan LC - 121,943 ppm (12,194%) yang berarti bahwa produk panel bangunan yang dihasilkan tidak toksik (Tabel 4.7). Hasil uji tingkat keasaman (pH) benda uji panel bangunan adalah 7.5-8, artinya bersifat tidak berbahaya (*non irritation*) (Tabel 4.7). Rerata hasil uji kadar air benda uji panel bangunan adalah 19,65%. Artinya, kadar air dalam benda uji panel bangunan adalah normal (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Uji Toksisitas, Higroskopisitas, pH Benda Uji Panel Bangunan Nilai LD₅₀ dan LC₅₀ Fly Ash yang Digunakan (diukur selama 96 Jam)

<i>Parameter Uji</i>	<i>Tingkat Toksisitas</i>	<i>Kriteria Menurut PPRI No.74 2001</i>
Mencit (tikus)	LD - 32,915 mg/kg (bb)	Relatif Tidak Berbahaya
Kutu Air	LC - 75,515 ppm (7,552%)	Hampir Tidak Toksik
Ikan Mas	LC - 121,943 ppm (12,194%)	Tidak Toksik
pH	7.5 - 8	Tidak Berbahaya (<i>non irritation</i>)
Kelembaban	19.65	Normal

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji dan analisis fisiko-kimiawi kaitannya dengan morfologi secara makroskopis menunjukkan bahwa komposit panel bangunan dari berbagai macam jenis bahan baku tersebut tampak menyatu secara solid dengan ikatan kimia antar bahan yang terlibat. Bahan organik yang berupa limbah ampas-daun tebu, jerami-sekam padi, dan ijuk tampak menyatu padu dengan komponen anorganiknya berupa *fly ash* dan semen. Kaitannya dengan higroskopisitasnya, produk panel bangunan yang dihasilkan tampaknya tidak terpengaruh oleh iklim dan kelembaban di dalam maupun di luar ruang karena kadar air panel bangunan yang diuji pada hari ke-30 dan hari ke-60 relatif stabil yakni 19,65% yang berarti normal. Kaitannya dengan tingkat keasaman (pH), panel bangunan yang dihasilkan menunjukkan kondisi yang aman/tidak menyebabkan iritasi karena pH: 7-8 yang berarti tidak mengiritasi/aman. Adapun hasil uji dan analisis toksisitas fly ash dilakukan menggunakan indikator biologis; mencit menunjukkan harga LD₅₀: 32,915 mg/kg (bb) yang berarti relatif tidak berbahaya. Kutu air menunjukkan harga LC₅₀: 75,515 ppm (7,552%) yang berarti hampir tidak toksik dan ikan mas menunjukkan harga LC₅₀: 121,943 ppm (12,194%) yang berarti tidak toksik. Oleh sebab itu produk panel bangunan yang dihasilkan dapat dipastikan aman dikonsumsi.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M) DIKTI DIKNAS yang telah membiayai seluruh penelitian ini pada tahun I (2008) dalam program Hibah Bersaing DIKTI. *Paper ini Merupakan Bagian dari Riset yang Dibiayai Program Hibah Bersaing Dikti 2008* tersebut.

Daftar Pustaka

Ardha N. (2005). *Pemanfaatan Abu Terbang Batu Bara (fly ash) PLTU Suralaya untuk Castable Refractory (Penelitian Pendahuluan)*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi

Mineral dan Batu Bara, <http://www.tekmira.esdm.go.id/kp/PengolahanMineral/pemanfaatanabuterbang.asp>.

- Atis C.D. (2002). High Volume Fly Ash Abrasion Resistant Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 14, No. 3, May/June 2002, pp.274-277.
- Bell J., Gordon M., dan Kriven W. (2006). *Use Of Geopolymeric Cements As A Refractory Adhesive For Metal And Ceramic Joins*. University Of Illinois At Urbana-Champaign, Department Of Materials Science and Engineering Urbana, Il 61801, USA.
- Butcher, E.G., A.C. Parnell. (1983). *Designing fo Fire Safety*, John Wiley and Sons, hlm. 36-53 & 258-267.
- Doven A.G., dan Pekrioglu A. (2005). Material Properties of High Volume Fly Ash Cement Paste Structural Fill. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 17, No. 6, November/December2005, pp.686-693.
- Everson, Kerry J. (1994). Firefighting Following a Large Earthquake, *Prosiding Firesafety Frontier – Tokyo International Fire Conference*, Tokyo, 18–22 Oktober 1994.
- Egan, M. David. (1978). *Concepts in Building Firesafety*, John Wiley and Sons, hlm. 64, 85, 88-90.
- Firdaus F., Deniharjo K., Hery S., dan Kurniawan B. (2006a). Komposit Geopolimer Abu Terbang Batu Bara (fly ash)-Unsaturated Resin/Polyester untuk Produksi Panel Tahan Api (fire proof) pada Kabin Interior Kereta Api. *Progress Report*, LP UII, UNS, dan INKA.
- Firdaus F. (2006b). *Komposit Sampah Plastik (thermo plastics)-Sabut Kelapa (coco fiber) untuk Produksi Plafon Tahan Air (water proof): Analisis Sifat Mekanik, Fisiko-Kimiawi dan Ketahanan Airnya*. Laporan Penelitian Dosen Muda Dikti/Mendiknas.
- Firdaus F. (2006c). *Komposit Sampah Plastik (thermo plastics)-Sabut Kelapa (coco fiber) untuk Produksi Papan dan Dinding Partisi: Analisis Sifat Mekanik dan Fisiko-Kimiawinya*. Laporan Penelitian LP UII.
- Firdaus F., dan Fajriyanto. (2005). *Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit (tandan kosong kelapa sawit) dan Sampah Plastik (thermo plastics) untuk Produksi Komposit Papan dan Dinding Interior: Analisis Karakteristik Mekanik, Fisikokimiawi dan Toksisitas*. Laporan Penelitian RUT XII 2005.
- Fauzi A. (2005). *Pemanfaatan Ampas Tebu Belum Optimal*, Pusat Informasi Kehutanan, Departemen Kehutanan RI, <http://www.agroindonesia.com/agnews/ind/2005/September/15/20September/2011.html>
- Ghosh A. dan Subbarao C. (2006). Leaching of Lime from Fly Ash Stabilized with Lime and Gypsum. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18, No. 1, January/February 2006, pp. 106-115.
- Ghosh A., dan Subbarao C. (2006). Tensile Strength Bearing Ratio and Slake Durability of Class F Fly Ash Stabilized with Lime and Gypsum. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18, No. 1, January/February 2006,pp.18-27.
- Goh C.C., Show K.Y., dan Cheong H.K. (2003). Municipal Solid Waste Fly Ash as a Blended Cement Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 15, No. 6, November/December 2003, pp. 513-523.
- Heukamp F.H., Ulm F.J., dan Germaine J.T. (2005). Does Calcium Leaching Increase Ductility of Cementitious Materials? Evidence from Direct Tensile Tests. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 17, No. 3, May/June 2005, pp. 307-312.
- Hardjito D. (2001). *Abu Terbang Batu Bara (fly ash) Solusi Pencemaran Semen*, FT Unika Widya Mandira Kupang, http://www.terranel.or.id/goto_berita.php/id=2472.

- Kumar S. dan Vaddu P. (2005). Improvement in Strength and Moduli of Coal Ash Stabilized with Bentonite and Compacted at Various Unit Weights. *Journal of Energy Engineering*, Vol.131, No.3, December 2005, pp.198-207.
- Khaerunisa H. (2005). *Toksistas Abu Terbang dan Abu Dasar Limbah PLTU Batubara yang Berada di Sumatera dan Kalimantan Secara Biologi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batu Bara, <http://www.tekmira.esdm.go.id/kp/Batubara/toksistas.asp>
- Kriven W., dan Bell J. (2004). *Effect Of Alkali Choice On Geopolymer Properties*. University Of Illinois At Urbana Champaign, 105 Materials Science And Engineering Bldg. 1304 W. Green St. Urbana, Il 61801.
- Kovler K. (2001). Enhancing Water Resistance of Cement and Gypsum-Cement Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 13, No. 5, September/October 2001, pp. 349-355.
- Koehn E., dan Ahmed M. (2001). Quality of Building Construction Materials (Cement) in Developing Countries. *Journal of Architectural Engineering*, Vol. 7, No. 2, June 2001, pp. 44-50.
- Lukey GC. dan Deventer JSJV. (2005). Geopolymer Technology: The Formation Of Cost-Competitive Construction Materials By The Alkali-Activation Of Coal Ash. *The 2005 World Of Coal Ash*, April 11-15, 2005, Lexington, Kentucky, USA.
- Litbang DPD REY DIY. (2004). *Biaya Pembangunan Rumah Tinggal Dengan Berbagai Variasi Tipe Rumah (Rumah Sederhana, Rumah Menengah Dan Rumah Mewah)*, Hasil Survei Dan Penelitian Litbang DPD REI DIY.
- Musyafa, A. (2000). Mutu Bangunan yang rendah Rawan terhadap bahaya Gempa. *Diskusi dan Konferensi Pers Hasil Observasi Gempa Pandeglang 2000*, LP UII dan CEDEDS UII Yogyakarta, 10 November 2000.
- Mutaqi, A. Saifudin. (2004). Peran Teknologi Konstruksi dalam Kompetisi Pasar Properti. *Prosiding Seminar Nasional Prospek dan Kendala Bisnis Properti di Indonesia*, Magister Teknik Sipil UII, 15 Juni 2004.
- Naik T.R., Singh S.S., dan Ramme B.W. (2002). Effect of Source of Fly Ash on Abrasion Resistance of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 14, No. 5, September/October 2002, pp. 417-426.
- Prihatmaji Y.P. (2006a). *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Komponen Penutup Atap Untuk Daerah Tropis Lembab*. Laporan Penelitian Laboratorium Teknologi Bahan FTSP/Arsitektur UII Yogyakarta.
- Prihatmaji Y.P. (2006b). *Studi Komprehensif Revitalisasi Benteng Van Der Wijck Gombang Kebumen: Studi Keandalan Struktur Dan Bahan Bangunan*. Laporan Penelitian Lembaga Penelitian UII Yogyakarta.
- Prihatmaji Y.P. (2005a). *Revitalization of Van der Wijck Fort Gombang Central Java*, *International Seminar on Modern Urban and Architectural Heritage in Jakarta*, Department of Architecture Trisakti University collaboration with Modern Asian Architecture Network University of Tokyo, Japan.
- Prihatmaji Y.P. (2005b). *Alternatif Papan Panel Interior-Eksterior dari Limbah Kerajinan Bambu dan Batu*. Laporan Penelitian Laboratorium Teknologi Bahan FTSP/Arsitektur UII Yogyakarta.
- Prihatmaji Y.P. (2005c). *Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang dan Limbah Serbuk-Serpih Batu untuk Alternatif Bahan Ubin Hias*. Laporan Penelitian Lab. Teknologi Bahan FTSP/Arsitektur UII Yogyakarta.

- Prihatmaji Y.P. (2004). Tipomorfologi Tektonika Rumah Tradisional Jawa Sebuah Tinjauan Bangunan Struktur Kayu Di Daerah Gempa, *Journal of TEKNISIA*, Vo. IX No. 2, Agustus 2004, ISSN: 0853-8557.
- Prihatmaji Y.P. (2003). Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Sebagai Alternatif Bahan Bangunan Untuk Papan Panel. *Seminar Nasional "Quality in Research" UI*, 2003, 85-93.
- Prihatmaji Y.P. (2002). Alternatif Bahan Dinding Permiabel Untuk Daerah Tropis Lembab. *Simposium Internasional on "Building Research and the Sustainability of the Built Environment in the Tropics" UNTAR*, 2002, 51-60.
- Peled A., dan Shah S.P. (2003). Processing Effects in Cementitious Composites: Extrusion and Casting. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 15, No. 2, March/April 2003, pp. 192-199.
- Prayitno, T.A. (1995). *Pengujian Sifat Fisika dan Mekanika Menurut ISO*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Reiner M., dan Rens K. (2006). High-Volume Fly Ash Concrete: Analysis and Application. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Vol. 11, No. 1, February 2006, pp. 58-64.
- Reza F., Batson G.B., Yamamuro J.A., dan Lee J.S. (2003). Resistance Changes during Compression of Carbon Fiber Cement Composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 15, No. 5, September/October 2003, pp. 476-483.
- Rebeiz K.S., dan Craft A.P. (2004). Properties of Polymer Concrete using Fly Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 16, No. 1, January/February 2004, pp. 15-19.
- Rebeiz K.S., dan Craft A.P. (2002). Polymer Concrete Using Coal Fly Ash. *Journal of Energy Engineering*, Vol. 128, No. 3, December 2002, pp. 62-73.
- Sarwidi. (2001). Lesson from Failure Non-Engineered Structures Damaged by Recent Earthquakes in Indonesia, *International Workshop, IUDMP ITB – JICA – AARGI*, Bali, Oktober 2001.
- Sarwidi. (2002). Pentingnya Membuat Bangunan tahan Gempa: Sebuah Tinjauan Aspek Teknis Rumah Rakyat, *Seminar Nasional Permukiman Berkualitas untuk Masyarakat Menengah keBawah di Perkotaan*, Jurusan Teknik Sipil FT UNS & University of Leeds UK, Surakarta, 2 Oktober 2002.
- Sarwidi. (2003). Sebuah Tinjauan Aspek Konstruksi: Hunian yang Layak di Wilayah Rawan Gempa, *Seminar Nasional Prospek Pembangunan Perumahan dalam Rangkaja Otonomi Daerah*, Jurusan Arsitektur UII-DPD REI DIY, Yogyakarta, 4 Oktober 2003.
- Simanungkalit P. (2004). Prospek dan Kendala Bisnis Properti di Indonesia, *Prosiding Seminar Nasional Prospek dan Kendala Bisnis Properti di Indonesia*, Magister teknik Sipil UII, 15 Juni 2004.
- Sutigno, P. (1994). *Teknologi Papan Partikel Datar*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, Bogor.
- SNI 03-1726-2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung.
- SNI 03-1727-1989. Tata Cara Perencanaan Pembebanan Untuk Bahan Bangunan Rumah dan Gedung.
- SNI 03-1736-2000. Tata Cara Perencanaan Sistem Proteksi Pasif Untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran Pada Bangunan Gedung.
- SNI 03-1739-1989. Metode Pengujian Jalar Api Pada Permukaan Bahan Bangunan untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran pada Rumah dan Gedung.

- SNI 03-1740-1989 Metode Pengujian Bakar Bahan Bangunan Untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran Pada Bangunan Rumah dan Gedung.
- Tanaka, I. (2000). Reduction of Preventable Death and Injuries, *Lokakarya Nasional Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Tahan Gempa: Evaluasi, Rekomendasi dan Sosialisasi*, Jurusan Teknik Sipil UII- LP UII & CEEDEDS, Yogyakarta, 6 September 2000.
- Triwulan. (2005). *Tingkatkan Nilai Ekonomi Limbah*, Jurusan Teknik Sipil ITS, <http://www.its.ac.id/berita.php?nomer=2169&err=0>
- Widodo. (2000). Kerusakan Bangunan Sederhana Akibat Gempa: Suatu Evaluasi dan Rekomendasi, *Lokakarya Nasional Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Tahan Gempa: Evaluasi, Rekomendasi dan Sosialisasi*, Jurusan Teknik Sipil FTSP UII, LP UII & CEEDEDS, Yogyakarta, 6 September 2000.
- White D.J. (2006). Reclaimed Hydrated Fly Ash as a Geomaterial. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18, No.2, March/April 2006, pp. 206-213.