

Aplikasi Buluh Bambu untuk Konstruksi Rangka Batang Ruang

Application of Bamboo Culm for Space Truss

Gina Bachtiar, Surjono Surjokusumo, Yusuf S. Hadi dan Naresworo Nugroho

Abstract

Space truss is a three dimensional structure composed of short slender interconnected bars. The bars are selected to produce lightweight members. Since joints are frictionless pins, truss members carry out only axial force either tension or compression, without bending moment. Bamboo is a potential building material for this structure, because it is relatively light and high strength especially in tension. This research is aimed to develop bamboo joint that could carry out both tension and compression and its application in space truss for 3 m x 4 m simple roof structure.

Connection designed using a taper rounded wooden plug attached to the inner part of bamboo and a tapered steel ring was used at the outside of the bamboo culm. Structural analysis using a program with finite element methods indicated that 4 cm diameter bamboo could use for 3 m x 4 m space truss with four supports, whereas for cantilever truss, the use of 4 cm diameter bamboo must be varied by using 6 cm diameter bamboo for elements that resist larger compression force.

Key words: space truss, members, tension, compression.

Pendahuluan

Bambu sebagai bahan bangunan mempunyai beberapa kelebihan, seperti nilai estika, kuat tariknya yang cukup tinggi, massa jenis yang kecil dan momen inersianya cukup tinggi. Nuryatin (2000) yang meneliti beberapa sifat dasar bambu dengan sampel bambu Tali yang berasal dari daerah Dramaga mendapatkan kuat tekan dan kuat tarik berturut-turut 307 kg/cm² dan 1,400 kg/cm² dengan berat jenis sekitar 0.6. Nilai ini sesuai dengan penelitian Purwito (1995) dalam Morisco (2006) bahwa bambu Tali yang berumur lebih dari 3 tahun menunjukkan nilai kuat tekan 250 ~ 1,000 kg/cm² dan kuat tarik 1,000 ~ 4,000 kg/cm².

Selain itu, bambu dapat dipanen dalam waktu yang relatif cepat. Jika kayu untuk penggunaan konstruksi baru dapat ditebang setelah berumur lebih dari sepuluh tahun, bambu untuk keperluan konstruksi dapat diambil setelah berumur 3 sampai 6 tahun. Sebagai familia rumput-rumputan, penebangan batang bambu tidak akan mematikan rumpun. Rumpun tersebut dapat terus menghasilkan buluh-buluh baru.

Kuat tarik bambu yang setara dengan kuat tarik baja, sementara kuat geser sejajar seratnya rendah, sehingga mudah pecah. Oleh karena itu, buluh bambu cocok jika digunakan untuk konstruksi rangka (*truss*). Kendala dalam pemanfaatan buluh bambu adalah membuat sambungan buluh bambu yang cukup kokoh terutama agar dapat menerima tarik, karena pemanfaatan bambu dalam bentuk buluh, mempunyai nilai tambah, yaitu faktor estetika.

Salah satu bentuk konstruksi rangka adalah konstruksi rangka batang ruang (*space truss*). Pada konstruksi ini, komponen-komponen batang dihubungkan

secara sendi, sehingga beban yang bekerja pada batang hanya gaya aksial tekan dan tarik. Dalam konstruksi rangka batang ruang ada dua unsur utama, yaitu komponen batang yang menerima beban tarik atau tekan, serta alat sambung yang berfungsi untuk menggabungkan beberapa komponen sedemikian rupa hingga gaya-gaya batang yang timbul dapat berpotongan pada satu titik yang biasa disebut titik buhul. Oleh karena itu, perlu dipelajari cara memanfaatkan bambu untuk konstruksi rangka batang ruang termasuk merencanakan sambungan, sehingga setiap komponen rangka batang ruang dapat menahan beban tarik maupun tekan yang timbul.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bentuk sambungan serta menghitung kekuatan tekan dan tarik komponen rangka batang ruang serta mengevaluasi penggunaannya untuk rangka atap berukuran 3 m x 4 m.

Pada penelitian ini dibatasi penggunaan pada bambu Tali (*Gigantochloa apus* Kurz) dengan diameter 4 cm dan diameter 6 cm untuk konstruksi atap kanopi yang berukuran 3 m x 4 m dengan empat tumpuan dan 3 m x 4 m dengan tumpuan pada satu bidang. Panjang komponen seragam, seperti Gambar 1.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan adalah bambu Tali (*Gigantochloa apus* Kurz) berumur 3 ~ 5 tahun yang berasal dari daerah Sawangan dengan diameter 4.0 ~ 4.5 cm dan 6.0 ~ 6.5 cm.

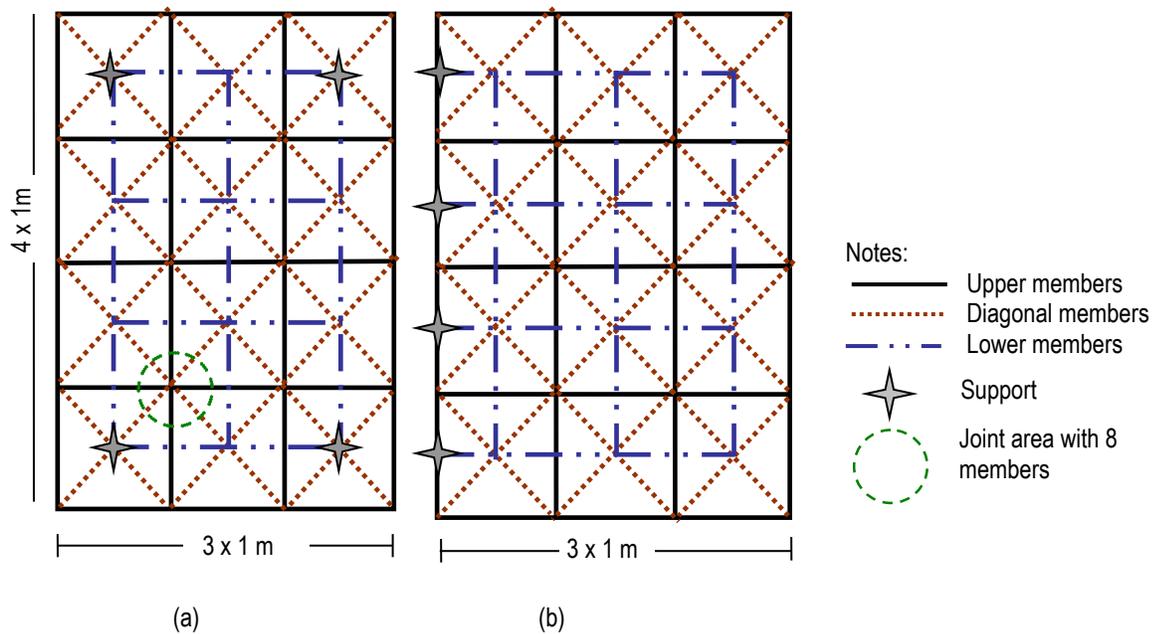


Figure 1. Roof truss design (top view).

Remark: (a) with 4 supports; (b) cantilever truss

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yaitu perancangan sambungan, perhitungan kekuatan maksimum komponen dan evaluasi kekuatan komponen pada rangka atap. Sambungan merupakan bagian paling kritis dalam suatu struktur, karena sambungan harus dapat meneruskan beban. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil perancangan sambungan yang optimal, perancangan perlu dilakukan dengan teliti secara bertahap.

Perancangan Sambungan

Sambungan yang direncanakan merupakan sambungan untuk struktur rangka batang ruang, sehingga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Sambungan harus dapat menerima gaya yang bekerja dan memindahkannya ke buluh bambu, sebagai bagian utama komponen, baik beban tarik maupun tekan yang terjadi.
2. Kekuatan sambungan harus dapat dianalisa secara mekanika.
3. Masing-masing sambungan harus dilengkapi dengan sebuah baut lengkap dengan mur yang dapat berputar bebas yang berfungsi sebagai alat sambung.
4. Satu titik simpul dapat menggabungkan lebih dari empat komponen.

Penggunaan bambu sebagai bahan bangunan, selain mempunyai beberapa keunggulan, seperti beratnya yang relatif ringan dan faktor estetika, bambu juga mempunyai beberapa kendala, diantaranya:

1. Bambu merupakan bahan bangunan yang bersifat anisotropis dengan sifat mekanik terbaik pada arah longitudinal. Bambu mempunyai kuat tekan dan kuat

tarik yang cukup tinggi, tetapi kuat geser dan kuat belahnya sangat rendah.

2. Bentuk bambu yang mendekati bulat dengan lubang di dalamnya, mempunyai dimensi yang tidak seragam, baik diameter, tebal dinding, maupun jarak antar buku.
3. Kelurusan bambu terbatas.

Perhitungan Kekuatan Komponen

Kekuatan komponen ditentukan dengan menghitung beban yang dapat ditahan oleh buluh bambu serta kekuatan sambungan yang direncanakan. Beban yang dihitung adalah beban yang dapat dipikul oleh komponen rangka batang ruang, baik gaya tekan maupun gaya tarik. Kekuatan sambungan dihitung dengan analisa mekanika.

Analisa Mekanika Rangka Atap

Pada penelitian ini dikembangkan dua macam model rangka batang ruang. Masing-masing model akan dianalisa untuk menggunakan dua ukuran diameter bambu yang akan digunakan yaitu bambu berdiameter luar 4 cm dan bambu dengan diameter luar 6 cm. Hal ini berarti untuk masing-masing model dilakukan dua kali analisa. Adapun bentuk-bentuk model rangka batang ruang yang dikembangkan adalah:

1. ST.1: struktur atap 3 m x 4 m dengan 4 tumpuan dan panjang komponen 1 m.
2. ST.2: struktur atap 3 m x 4 m overstek dengan 9 tumpuan pada dinding tanpa kolom dengan panjang komponen 1 m.

Hasil dan Pembahasan

Perancangan Sambungan

Berdasarkan analisa terhadap kebutuhan, maka bentuk sambungan yang baik direncanakan dengan menggunakan pasak/pengisi kayu dengan buah ring pelat. Selain itu, untuk menghindari pecahnya bambu di antara bagian yang lurus dengan bagian yang mengerucut pada saat gaya tekan diteruskan ke buluh bambu (Bachtiar *et al.* 2008), maka penggunaan klem besi diperpanjang, sehingga bentuk yang direncanakan menjadi seperti pada Gambar 2.

Distribusi Gaya-gaya yang Bekerja pada Sambungan

Gaya Tekan. P dari titik sambung mula-mula bekerja pada baut, lalu ke mur. Dari mur gaya dialihkan kepada ring A. Selanjutnya dari ring A gaya diteruskan menjadi gaya tekan terbagi rata pada buluh bambu. Hasil penelitian sifat dasar bambu tali, yang dilakukan sesuai standar ISO N22157-2004 dan dianalisa dengan standard ICBO AC 192, mendapatkan besar kuat tekan ijin = 12.7 MPa.

Gaya Tarik. P dari titik sambung mula-mula bekerja pada baut, lalu oleh ring B gaya diteruskan ke pasak kayu (menjadi gaya tekan). Selanjutnya melalui perekat epoxy gaya tersebut dipindahkan ke buluh bambu menjadi gaya geser. Besarnya gaya tarik yang dapat diterima oleh sambungan ditentukan oleh besarnya gaya tarik yang dapat diterima oleh baut, besar gaya geser yang dapat diterima oleh bidang rekat (antara kayu pengisi dan dinding sebelah dalam bambu), serta besarnya gaya geser yang dapat diterima oleh bambu bagian dalam. Penelitian yang dilakukan oleh Suhartono (2002) dalam Morisco (2005) tentang kuat geser bidang rekat antara kayu pengisi dan dinding sebelah dalam bambu, menggunakan perekat epoksi, dan memperoleh hasil kuat

geser 3 Mpa, sementara kuat geser dinding bambu bagian dalam diperoleh nilai 2.5 MPa.

Perhitungan Kekuatan Sambungan

Perhitungan kekuatan komponen secara analisis dengan memperhatikan sifat fisik dan mekanik bambu serta dimensi sambungan maksimum yang dapat dibuat, maka kekuatan maksimal komponen dapat dihitung. Dalam perhitungan kekuatan maksimal sampel, diasumsikan bahwa panjang baut yang tersedia 20 cm, sehingga panjang bidang geser maksimal yang dapat dibuat adalah 10 cm. Dengan memasukkan data sambungan pada persamaan-persamaan di atas, maka diperoleh kekuatan maksimal komponen seperti terlihat pada Tabel 1.

Analisa Mekanika Rangka Atap

Perhitungan struktur dilakukan dengan metoda elemen hingga (*finite element method*); yaitu menggunakan program SAP 2000 untuk dua model rangka batang ruang dengan panjang batang seragam satu meter:

- ST1: rangka atap berukuran 3 m x 4 m dengan empat tumpuan (Gambar 1.a).
- ST2: rangka atap 3 m x 4 m dengan 9 tumpuan pada satu bidang (Gambar 1.b).

Dalam perhitungan struktur tersebut beban yang diperhitungkan diambil sesuai dengan SNI 03-1727-1989 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Beban yang diperhitungkan adalah :

- 1) Berat sendiri :
Penutup atap = 15 kg/m²
Gording = 3 kg/m²
- 2) Beban hidup = 100 kg/m²
- 3) Beban angin untuk atap miring sepihak
(dengan $0 \leq \alpha \leq 100$) = 1.2 x 25 kg/m²

Dengan penomoran batang seperti Gambar 3 dan 4, diperoleh gaya batang hasil perhitungan seperti pada Tabel 2.

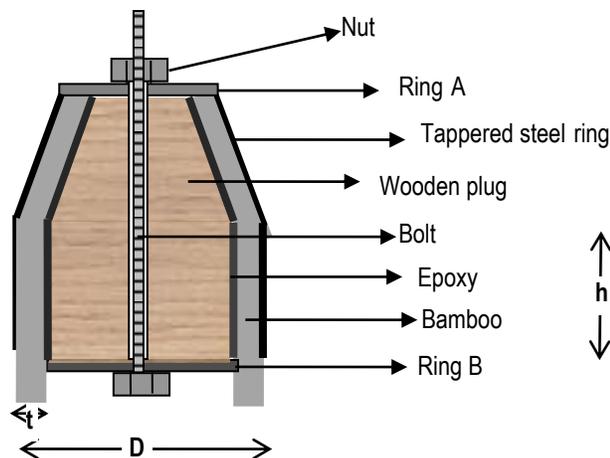


Figure 2. Joint designed. (Section drawings)

Table 1. Analytical maximum strength.

Dimension	D=6cm, L=100 cm	D=4cm, L=100 cm	Unit
Outer diameter (D)	6.00	4.00	cm
Wall thickness (t)	0.50	0.50	cm
Member length (L)	100.00	100.00	cm
Area (A)	8.64	5.50	cm ²
Second moment (I)	32.92	8.59	cm ⁴
Radius (r)	1.95	1.25	cm
Modulus of elasticity (MOE)	8300.00	8300.00	kg/cm ²
Compression strength (σ_{tk})	127.00	127.00	kg/cm ²
Slenderness (λ)	51.21	80.00	
Buckling factor (ω)	1.73	1.97	
Compression (P_{tkn})	922.38	501.43	kg
Compression stress (σ_{trk})	600	600	kg/cm ²
Culm tension ($P_{tarik\ buluh}$)	5181.00	3297.00	kg
Shear stress (τ)	25.00	25.00	kg/cm ²
Shear high (h)	10	10	cm
Shear Tension ($P_{tarik\ geser}$)	3925.00	2355.00	kg

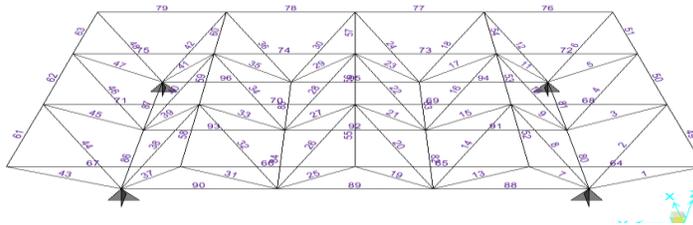


Figure 3. Roof truss ST1 (isometrical drawings).

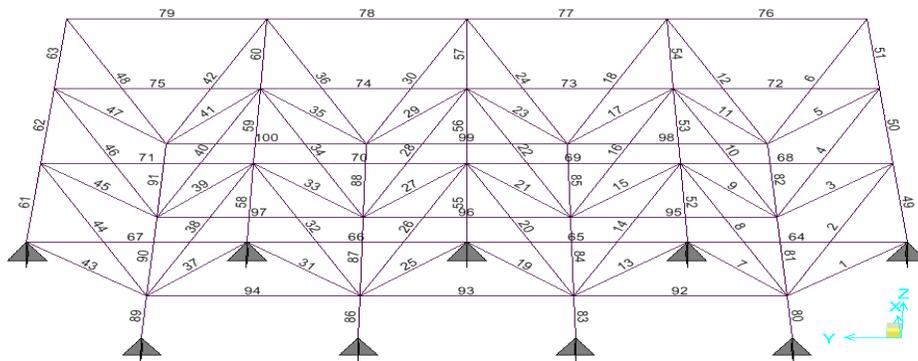


Figure 4. Roof truss ST2 (isometrical drawings).

Table 2. Maximum Force on ST1 and ST2.

Roof truss	Profile	Max. tension		Max. compression	
		(kg)	No. of member	(kg)	No. of member
ST1	B 1	64.61	89 & 95	-178.57	8, 11, 38 & 41
	B 2	65.59	89 & 95	-181.47	8, 11, 38 & 41
ST2	B 1	546.28	55	-867.23	80 & 89
	B 2	553.58	55	-878.76	80 & 89

Notes : B1 = 4 cm diameter bamboo and B2 = 6 cm diameter bamboo.

Jika besarnya gaya maksimum yang timbul (Tabel 2) dibandingkan dengan gaya maksimum yang dapat diterima komponen (Tabel 1), maka terlihat bahwa rangka atap ST1 masih cukup kuat jika dibuat dengan menggunakan bambu berdiameter 4 cm, sementara rangka atap ST2 ada beberapa batang yang harus menahan gaya lebih besar dari kapasitasnya. Oleh karena itu untuk ST2, penggunaan bambu berdiameter 4 cm harus digabungkan menggunakan bambu berdiameter 6 cm.

Kesimpulan

1. Hasil analisa terhadap komponen rangka batang ruang dengan menggunakan sambungan hasil rancangan menunjukkan bahwa komponen yang dibuat dari bambu Tali cukup baik dalam menerima gaya tarik maupun gaya tekan.
2. Berdasarkan analisa terhadap beberapa model rangka atap terbukti bambu berdiameter 4 cm dapat dimanfaatkan untuk pembuatan rangka batang ruang sampai dengan rangka berukuran 3 m x 4 m dengan 4 tumpuan. Penggunaan bambu berdiameter 6 cm pada struktur tersebut akan menambah kekakuan struktur sehingga defleksi yang timbul menjadi sangat kecil.
3. Untuk struktur atap berukuran 3 m x 4 m yang ditumpu pada satu bidang, penggunaan bambu berdiameter 4 cm harus memanfaatkan bambu berdiameter 6 cm pada komponen-komponen yang menahan beban tekan besar, yaitu pada batang-batang di daerah tumpuan bagian bawah.

Daftar Pustaka

- Bachtiar G.; S. Surjokusumo; Y.S. Hadi; N. Nugroho. 2008. Perancangan Sambungan Bambu untuk Komponen Rangka Batang Ruang. J. Forum Pascasarjana 31 (1): 69-78
- SNI 03-1727. 1989. Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. BSN, Jakarta.

[ICBO] International Conference of Building Officials. 2000. *Acceptance Criteria for Structural Bamboo*. AC162. California, USA

[ISO] International Standard Organisation. 2004. N22157-2004 Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo.

Morisco. 2005. Rangkuman Penelitian Bambu di Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) UGM, Makalah Seminar Nasional Perkembangan Perbambuan di Indonesia, Yogyakarta, 17 Januari 2005. Yogyakarta: Pusat Studi Ilmu Teknik UGM, hlm 11-22

Morisco. 2006. Bahan Kuliah Teknologi Bambu, Program Magister Teknologi Bahan Bangunan, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Nuryatin, N. 2000. Studi Analisa Sifat-sifat Dasar Bambu pada Beberapa Tujuan Penggunaan, (Tesis). Bogor: Institut Pertanian Bogor, Program Pasca Sarjana.

Makalah masuk (*received*) : 19 September 2008

Diterima (*accepted*) : 17 April 2009

Revisi terakhir (*final revision*) : 27 April 2009

Gina Bachtiar

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Negeri Jakarta

(Civil Engineering Department, Faculty of Technology, State University of Jakarta)

Tel : 021-4700676, 0818416982

E-mail : ginbach@yahoo.com

gbachtiar@ft.unj.ac.id

Surjono Surjokusumo, Yusuf Sudo Hadi

dan Naresworo Nugroho

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan

Institut Pertanian Bogor.

(Forest Products Department, Faculty of Forestry Bogor Agricultural University)

Tel : 0251-8621285

E-mail : naresworo@yahoo.com

yshadi@indo.net.id

Pengaruh Lama Perlakuan Uap pada Serat terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Papan Semen Serat Sisal

Effect of Fiber Steaming Treatment on the Physical and Mechanical Properties of Sisal Fiber Cement Bonded Board

Ismail Budiman, Mohamad Gopar, Subyakto dan Bambang Subiyanto

Abstract

The main problem of making Sisal fiber cement bonded board is how to mix fibers and cement to get excellent performance of board due to the presence of extractives. Steam treatment on fibers is expected to reduce extractives in the fibers; therefore it will improve the bonding between fibers and cement. Beside that, utilization of catalysts, such as calcium chloride (CaCl_2) and magnesium chloride (MgCl_2), is expected to increase the physical and mechanical properties of Sisal fiber cement bonded board.

Fibers of Sisal was chopped into 0.5 ~ 1.0 cm of length. Steam treatment was conducted in autoclave for 30, 60 and 120 minutes at 1.15 atm of pressure and 121°C of temperature, and untreated Sisal as control. Chopped fiber was dried in an oven at 60°C to obtain 5% of moisture content. The content of CaCl_2 or MgCl_2 was 5% of cement weight.

The board was produced at a dried fiber : cement ratio of 1 : 3 and water : cement ratio of 1 : 2 based on board weight. The target density of the boards produced was 1.25 g/cm³. Cement bonded Sisal fiber was formed into 25cm x 25cm x 1cm mat, and then cold pressed for 24 hours. Composites were conditioned at room temperature for 28 days. Physical and mechanical characteristics were tested by Universal Testing Machine (UTM). Results shown that combination of steam treatment and catalyst added improved the physical and mechanical properties such as thickness swelling (TS), modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), screw withdrawal (SW) and internal bond (IB).

Key words: Sisal fiber, cement, autoclave, catalyst, physical and mechanical properties.

Pendahuluan

Keberadaan bahan baku kayu yang berasal dari hutan, baik hutan alam maupun hutan tanaman, semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya laju deforestasi hutan di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh semakin maraknya kasus penebangan liar (*illegal logging*) yang telah menguras isi hutan dan perhatian pemerintah dalam mengatasi masalah ini. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka perlu diusahakan untuk mencari alternatif bahan baku yang mempunyai fungsi relatif sama dengan kayu. Hal ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan akan bahan baku industri produk komersial yang berasal dari kayu. Salah satu sumber dalam pembuatan produk komersial tersebut adalah serat alam yang berasal dari tumbuhan yang berselulosa seperti Sisal, Abaka, Kenaf dan lain-lain.

Serat Sisal (*Agave sisalana*) merupakan salah satu serat alam yang mengandung selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai jenis produk, diantaranya dapat digunakan dalam pembuatan papan semen dan bahan bangunan lainnya. Selain itu dengan keberadaannya yang cukup melimpah di Indonesia, cukup mudah bagi kita untuk melakukan berbagai penelitian dengan menggunakan bahan baku serat Sisal (Sastrosupadi 2006). Tanaman Sisal tumbuh liar antara lain di Blitar Selatan, Pamekasan dan Sumenep, pada daerah kering, berbatu dan berlereng-lereng bukit. Sisal

merupakan tanaman tahunan dan secara periodik diambil seratnya yang berasal dari daun. Luas areal Sisal di Indonesia sekitar 1000 ha dengan produktivitas 1 ~ 1.2 ton serat/ha/tahun (Anonim 2006).

Pemanfaatan serat Sisal cukup banyak ragamnya, diantaranya adalah untuk penggunaan tali kapal, komposit Sisal dengan perekat formaldehida, komposit Sisal dengan plastik, dan juga komposit serat dengan semen. Komposit Sisal dengan perekat formaldehida, diantaranya *urea formaldehyde* (UF) atau *melamine urea formaldehyde* (MUF) memiliki kelemahan dalam sifat pengembangan tebal yang besar (Syamani *et al.* 2008). Komposit Sisal dengan plastik, diantaranya polietilena dan polistirena, dibuat untuk furnitur ataupun interior mobil. Sedangkan komposit Sisal semen digunakan sebagai bahan bangunan dan bahan yang memerlukan sifat tahan api (Li *et al.* 2000). Selain itu serat Sisal juga dapat dijadikan sebagai bahan bangunan dengan mencampurkannya dengan tanah dan semen dalam perbandingan tertentu. Hasil pencampuran tersebut dapat digunakan sebagai bahan bangunan yang memiliki kemampuan yang baik dalam mengurangi abrasi bahan dan memiliki kekuatan yang baik (Mattone 2005).

Masalah utama dalam pemanfaatan serat Sisal untuk dijadikan komposit serat semen adalah metode pencampuran serat dan semen agar dapat membentuk papan yang memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik. Serat Sisal memiliki kandungan zat ekstraktif yang cukup

tinggi. Komponen kimia serat Sisal terdiri dari 48 ~ 78% selulosa, 7 ~ 11% lignin, 10 ~ 24% hemiselulosa, 10% pektin dan 0.1% wax (Mishra *et al.* 2000; Munawar 2008). Kandungan kimia serat Sisal tersebut dipengaruhi oleh umur dan tempat tumbuhnya. Diduga tingginya kandungan zat ekstraktif serat ini dapat menurunkan sifat perekatan dengan semen. Perlakuan uap terhadap serat Sisal diharapkan akan mampu menurunkan kandungan zat ekstraktif serat untuk memperkuat ikatan dengan semen. Hal lain yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan katalis kalsium klorida (CaCl_2) dan magnesium klorida (MgCl_2) yang diharapkan dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis papan semen. Penambahan MgCl_2 5% pada pembuatan papan semen pelepah kelapa sawit meningkatkan nilai kecocokan campuran semen dan pelepah kelapa sawit (*compatibility factor*, C_A) lebih dari 90%. Hal ini dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis dari papan semen (Hermawan *et al.* 2001).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan uap pada serat Sisal dan pengaruh penggunaan katalis CaCl_2 dan MgCl_2 terhadap sifat fisis dan mekanis papan semen serat Sisal.

Bahan dan Metode

Bahan baku serat Sisal diperoleh dari Blitar, Jawa Timur. Serat Sisal dihasilkan dari pelepah Sisal yang diproses menggunakan mesin dekortikator. Serat Sisal dari dekortikator dikeringkan di udara terbuka. Selain serat, bahan lain yang digunakan adalah semen *portland*, dan katalisator CaCl_2 dan MgCl_2 .

Serat Sisal dipotong sepanjang 0.5 ~ 1 cm. Perlakuan uap menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dan tekanan 1.15 atm dilakukan terhadap serat dengan variasi waktu 30, 60 dan 120 menit. Serat kemudian dibilas dengan air bersih untuk selanjutnya di *oven* selama 3 hari dengan suhu 60°C sampai kadar air serat tidak lebih dari 5%.

Untuk mengetahui kandungan kimia dari serat tersebut, terhadap sebagian serat kontrol maupun serat yang telah di *autoclave* dilakukan karakterisasi. Persiapan sampel untuk pengujian komponen kimia dilakukan dengan mengacu pada standar TAPPI T257. Selanjutnya berturut-turut untuk pengukuran kandungan holoselulosa dan selulosa (TAPPI T203), lignin (TAPPI T222), kelarutan ekstraktif dalam ethanol benzene (TAPPI T204), kelarutan dalam air dingin dan air panas (TAPPI T207), serta kelarutan dalam NaOH 1% (TAPPI T212) (Guler *et al.* 2007).

Sebagian dari serat kontrol maupun serat yang telah di *autoclave* digunakan sebagai bahan baku pembuatan papan dengan ukuran 25 cm x 25 cm x 1 cm dan target kerapatan 1.25 g/cm³. Perbandingan berat air dengan semen ditetapkan 1 : 2. Sehari sebelum pembuatan papan, kadar air serat dibuat 60% dan sisanya

ditambahkan pada saat pembuatan papannya. Katalis yang digunakan adalah CaCl_2 5% atau MgCl_2 5%. Sedangkan perbandingan berat serat dengan semen adalah 1 : 3 berupa adonan. Adonan dimasukkan ke dalam cetakan, dipadatkan dan kemudian dikempa dingin hingga mencapai ketebalan yang diinginkan selama 24 jam. Papan serat semen yang dihasilkan kemudian dibiarkan mengering pada suhu kamar selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian.

Setelah selesai dikeringkan pada suhu kamar, papan semen kemudian diukur kerapatan dan kadar airnya. Kerapatan diukur dengan menghitung dimensi berat dan ukuran dari papan. Nilai kerapatan didapat dari perhitungan berat persatuan volume papan (g/cm³). Sedangkan kadar air papan diukur dengan meng-*oven* papan pada suhu 105°C selama 24 jam. Nilai persentase kadar air diperoleh melalui perhitungan pembagian selisih berat sebelum dan setelah dioven terhadap berat setelah dioven dan dikalikan dengan 100%.

Untuk tujuan pengujian dibuat potongan sesuai dengan kebutuhan pengujian dan untuk tiap papan serat diambil 3 ulangan. Pengamatan dilakukan terhadap kadar air (*Moisture Content*, MC), pengembangan tebal (*Thickness Swelling*, TS), modulus patah (*Modulus of Rupture*, MOR), modulus elastisitas (*Modulus of Elasticity*, MOE), kekuatan rekat internal (*Internal Bond*, IB) dan kuat cabut sekrup (*Screw Withdrawal*, SW).

Pada pengujian TS, ketebalan sampel uji diukur kemudian direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam. Setelah perendaman, sampel dikeluarkan dari air, dilap dari air yang menetes dan diukur ketebalannya. Besarnya TS karena penyerapan air dihitung dengan membandingkan perubahan tebal terhadap tebal awal sampel. Untuk pengujian MOR, MOE, IB, dan SW dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian ini dilakukan mengacu pada standar ISO 8335 (1987) mengenai papan partikel semen kecuali untuk kuat pegang sekrup mengacu pada JIS A 5908 (1994) mengenai papan partikel.

Hasil dari pengujian tersebut kemudian dianalisis secara statistika dengan menggunakan *software* Minitab versi 14. Analisis secara statistika ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian perlakuan uap pada serat ataupun pemberian katalis terhadap sifat fisis dan mekanis papan semen yang dibuat.

Hasil dan Pembahasan

Sifat Kimia Serat Sisal

Serat Sisal yang disiapkan pada pembuatan papan semen ini terlebih dahulu dikarakterisasi untuk mengetahui kandungannya, antara lain kadar air serat, persentase kelarutan ekstraktif dalam air dingin, kelarutan ekstraktif dalam air panas, dan kelarutan ekstraktif dalam *ethanol benzene*.

Pemberian perlakuan uap dengan *autoclave* terhadap serat Sisal menyebabkan zat ekstraktif yang terlarut dalam air dingin, air panas, maupun *ethanol benzene* berkurang. Pada serat tanpa perlakuan uap, kelarutan zat ekstraktif dalam air dingin sebesar 15.82%, dalam air panas sebesar 16.76% dan dalam *ethanol benzene* sebesar 4.03% (Syamani *et al.* 2008). Pada perlakuan uap 30 menit, kelarutan zat ekstraktif serat Sisal menurun menjadi 3.95% dalam air dingin, 5.51% dalam air panas, dan 2.98% dalam *ethanol benzene* (Syamani *et al.* 2008). Perlakuan uap dengan *autoclave* selama 60 menit dan 120 menit menghasilkan persentase kelarutan ekstraktif yang lebih kecil dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan uap dan dengan perlakuan uap 30 menit. Persentase kelarutan ekstraktif dalam air dingin untuk perlakuan uap selama 60 menit dan 120 menit masing-masing adalah 3.53% dan 3.04%. Persentase kelarutan ekstraktif dalam air panas untuk perlakuan uap selama 60 menit dan 120 menit masing-masing adalah 4.91% dan 3.16%. Sedangkan persentase kelarutan ekstraktif dalam *ethanol benzene* untuk perlakuan uap selama 60 menit dan 120 menit masing-masing adalah 2.18% dan 2.12%. Berkurangnya kandungan zat ekstraktif dalam serat diharapkan akan memperkuat ikatan serat dengan semen.

Sifat-sifat Fisis dan Mekanis Papan Semen

Hasil pengujian sifat-sifat fisis dan mekanis papan semen disajikan pada Tabel 1. Sifat-sifat yang diuji adalah kadar air (MC) pengembangan tebal (TS), modulus elastisitas (MOE), patah (MOR), kekuatan rekat internal (IB) dan kekuatan pegang sekrup (SW). Selain itu juga dihitung kerapatan dari masing-masing papan semen.

Kadar Air Papan (*Moisture Content, MC*). Nilai MC papan berkisar antara 5.49% sampai 9.74%. Nilai terkecil dari MC papan yaitu sebesar 5.49% pada papan dengan

serat perlakuan uap 30 menit tanpa katalis. Sedangkan nilai MC papan terbesar adalah 9.74% pada papan dengan serat perlakuan uap 60 menit dengan katalis MgCl₂. Nilai MC papan tanpa menggunakan katalis pada semua perlakuan serat lebih kecil jika dibandingkan nilai MC papan yang menggunakan katalis. Hal ini disebabkan sifat dari katalis yang digunakan yaitu CaCl₂ dan MgCl₂ yang higroskopis atau menyerap air. Berdasarkan standard pembuatan papan semen dengan menggunakan standard ISO 8335 (1987) yang mensyaratkan bahwa MC papan semen maksimal adalah 12%, maka seluruh papan yang dibuat pada penelitian ini memenuhi standard. Persentase MC papan serat pada setiap taraf dapat dilihat pada Gambar 1.

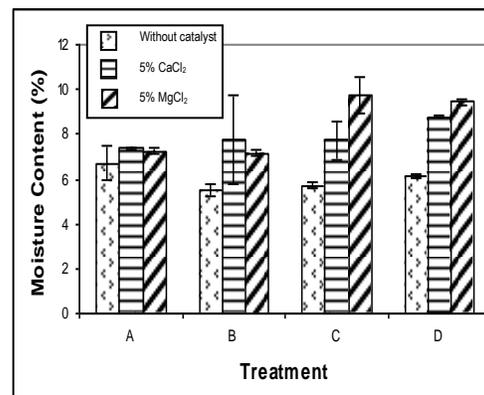


Fig 1. Moisture content of Sisal fiber cement bonded board at different treatment.

Note: A : untreated Sisal fiber
B : 30 minutes autoclaved Sisal fiber
C : 60 minutes autoclaved Sisal fiber
D : 120 minutes autoclaved Sisal fiber

Table 1. Physical and mechanical properties of Sisal fiber cement bonded board

Composition of Sisal fiber cement bonded board	Physical and Mechanical Properties						
	Density (g/cm ³)	MC (%)	TS (%)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	IB (kg/cm ²)	SW (kgf)
Untreated fiber without catalyst	1.21	6.71	5.53	12461	39.92	0.35	9.23
Untreated fiber + CaCl ₂ 5%	1.29	7.37	5.23	14958	46.91	0.23	9.75
Untreated fiber + MgCl ₂ 5%	1.26	7.25	5.33	18699	50.53	0.19	11.03
30 minutes autoclaved fiber without catalyst	1.20	5.49	6.18	6329	20.81	0.04	5.55
30 minutes autoclaved fiber + CaCl ₂ 5%	1.30	7.74	2.21	37078	83.09	3.34	32.14
30 minutes autoclaved fiber + MgCl ₂ 5%	1.15	7.17	5.58	10034	33.72	0.09	10.56
60 minutes autoclaved fiber without catalyst	1.21	5.72	6.99	9174	27.29	0.10	10.74
60 minutes autoclaved fiber + CaCl ₂ 5%	1.25	7.74	0.99	30896	110.35	2.60	22.29
60 minutes autoclaved fiber + MgCl ₂ 5%	1.31	9.74	1.90	28653	102.05	2.53	36.11
120 minutes autoclaved fiber without catalyst	1.18	6.12	7.96	2873	16.22	0.03	4.59
120 minutes autoclaved fiber + CaCl ₂ 5%	1.31	8.79	0.76	19919	75.18	1.04	33.88
120 minutes autoclaved fiber + MgCl ₂ 5%	1.26	9.45	0.95	41748	98.09	5.88	29.65

Pengembangan Tebal (*Thickness Swelling, TS*). Nilai TS papan berkisar antara 0.76% sampai 7.96%. Nilai terkecil dari TS yaitu sebesar 0.76% pada papan dengan serat perlakuan uap 120 menit dan katalis CaCl_2 5%. Sedangkan nilai TS terbesar adalah 7.96% pada papan dengan serat perlakuan uap 120 menit tanpa katalis. Nilai TS dari papan dengan menggunakan katalis pada semua perlakuan serat lebih kecil jika dibandingkan nilai TS pada papan yang tidak menggunakan katalis. Berdasarkan standard pembuatan papan semen dengan menggunakan standard ISO 8335 (1987) yang mensyaratkan bahwa TS papan semen maksimal adalah 2%, maka yang memenuhi standard adalah papan semen perlakuan uap serat 60 menit dengan katalis CaCl_2 5% (0.99%) dan MgCl_2 5% (1.90%), serta papan semen perlakuan uap serat 120 menit dengan katalis CaCl_2 5% (0.76%) dan MgCl_2 5% (0.95%). Persentase TS papan semen serat selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.

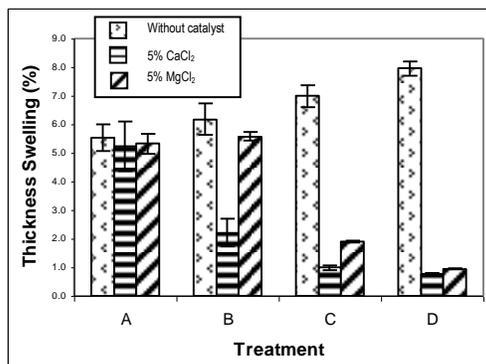


Fig 2. Thickness swelling of Sisal fiber cement bonded board at different treatment.

Note : see Fig 1.

Papan-papan semen serat dengan nilai TS memenuhi standard ISO 8335 (1987), memiliki nilai TS yang lebih baik jika dibandingkan dengan papan semen pelepah Kelapa Sawit dengan katalis MgCl_2 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.2 (sekitar 19.7%) ataupun perbandingan partikel semen 1 : 2.7 (sekitar 7.3%) (Hermawan *et al.* 2001). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan uap pada serat memberikan pengaruh yang baik untuk mengurangi sifat TS dari papan semen.

Modulus Patah (*Modulus of Rupture, MOR*). Kisaran nilai MOR dari papan semen serat Sisal yang dihasilkan yaitu antara 16.22 kgf/cm^2 sampai 110.35 kgf/cm^2 . Papan semen dengan nilai MOR terkecil adalah papan semen tanpa katalis dengan serat perlakuan uap selama 120 menit (16.22 kgf/cm^2). Sedangkan papan semen dengan nilai MOR terbesar adalah papan semen penambahan katalis CaCl_2 5% dengan serat perlakuan uap selama 60 menit (110.35 kgf/cm^2). Papan semen dari serat dengan penambahan katalis CaCl_2 5% memiliki nilai MOR yang

lebih tinggi dari papan semen tanpa katalis dan papan semen dengan penambahan katalis MgCl_2 , kecuali pada papan semen dengan serat perlakuan uap 120 menit, dimana nilai MOR papan semen dengan katalis MgCl_2 5% lebih besar dari papan semen dengan penambahan katalis CaCl_2 5%. Papan semen yang memenuhi standard adalah papan semen perlakuan uap serat 60 menit dengan katalis CaCl_2 5% (110.35 kgf/cm^2) dan MgCl_2 5% (102.05 kgf/cm^2), serta papan semen perlakuan uap serat 120 menit dengan katalis MgCl_2 5% (98.09 kgf/cm^2). Papan-papan semen tersebut memiliki nilai MOR yang lebih tinggi dari batas minimal yang ditetapkan standard ISO 8335 (1987) yaitu 90 kgf/cm^2 . Nilai MOR papan semen serat selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.

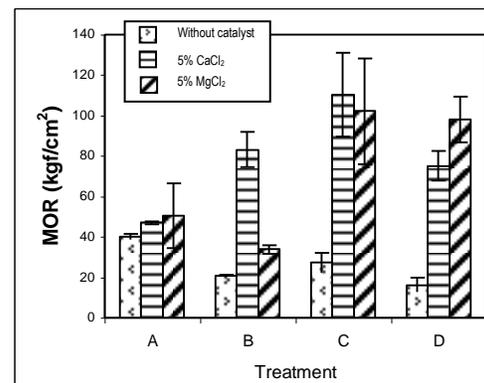


Fig 3. Modulus of rupture of Sisal fiber cement bonded board at different treatment.

Note : see Fig 1.

Papan-papan semen serat dengan nilai MOR memenuhi standard ISO 8335 (1987), memiliki nilai MOR lebih besar jika dibandingkan dengan papan semen pelepah Kelapa Sawit dengan katalis MgCl_2 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.2 (sekitar 65 kgf/cm^2), namun lebih rendah dari nilai MOR papan semen batang Kelapa Sawit dengan katalis MgCl_2 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.7 (sekitar 193 kgf/cm^2) (Hermawan *et al.* 2001). Papan-papan semen serat Sisal ini juga memiliki nilai MOR yang lebih baik jika dibandingkan dengan papan semen sekam Padi dengan kerapatan papan 1.2 g/cm^3 , perbandingan semen : partikel : air sebesar 2.6 : 1.0 : 1.3 dan penambahan CaCl_2 sebesar 5% (sekitar 80 kgf/cm^2) (Ma *et al.* 2000).

Modulus Elastisitas (*Modulus of Elasticity, MOE*). Nilai MOE dari papan semen serat Sisal yang dihasilkan berkisar antara 2872 kgf/cm^2 sampai 41747 kgf/cm^2 . Papan semen dengan nilai MOE terkecil adalah papan semen tanpa katalis dengan serat perlakuan uap selama 120 menit (2872 kgf/cm^2). Sedangkan papan semen dengan nilai MOE terbesar adalah papan semen penambahan katalis MgCl_2 5% dengan serat perlakuan

uap selama 120 menit (41747 kgf/cm²). Papan semen dari serat dengan penambahan katalis CaCl₂ 5% memiliki nilai MOE yang lebih tinggi dari papan semen tanpa katalis dan papan semen dengan penambahan katalis MgCl₂, kecuali pada papan semen dengan serat perlakuan uap 120 menit, dimana nilai MOE papan semen dengan katalis MgCl₂ 5% lebih besar dari papan semen dengan penambahan katalis CaCl₂ 5%. Berdasarkan standard pembuatan papan semen dengan menggunakan standard ISO 8335 (1987) yang mensyaratkan bahwa nilai MOE papan semen minimal adalah 30000 kgf/cm², maka yang memenuhi standard adalah papan semen perlakuan uap serat 30 menit dengan katalis CaCl₂ 5% (37077 kgf/cm²), papan semen perlakuan uap serat 60 menit dengan katalis CaCl₂ 5% (30896 kgf/cm²) dan papan semen perlakuan uap serat 120 menit dengan katalis MgCl₂ 5% (41748 kgf/cm²). Nilai MOE papan semen serat selengkapnya tersaji pada Gambar 4.

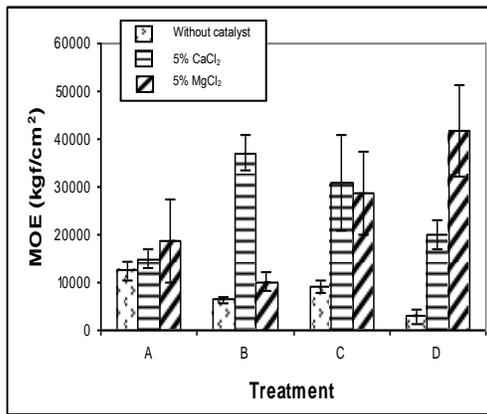


Fig 4. Modulus of Elasticity of Sisal fiber cement bonded board at different treatment.
Note : see Fig 1.

Papan-papan semen serat dengan nilai MOE memenuhi standard ISO 8335 (1987), memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai MOE papan semen pelepah Kelapa Sawit dengan katalis MgCl₂ 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.2 (sekitar 14000 kgf/cm²), namun lebih kecil dibandingkan papan semen pelepah Kelapa Sawit dengan katalis MgCl₂ 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.7 (sekitar 57500 kgf/cm²) (Hermawan *et al.* 2001). Nilai MOE dari papan semen serat Sisal ini juga memiliki nilai yang hampir sama dengan nilai MOE dari papan semen sekam Padi dengan kerapatan papan 1.2 g/cm³, perbandingan semen : partikel : air sebesar 2.6 : 1.0 : 1.3 dan penambahan CaCl₂ sebesar 5% (sekitar 30000 kgf/cm²) (Ma *et al.* 2000).

Kekuatan Rekat Internal (Internal Bond, IB). Kisaran nilai IB papan semen serat Sisal yaitu antara 0.03 kgf/cm² sampai 5.88 kgf/cm². Papan semen dengan

menggunakan katalis MgCl₂ memiliki nilai yang semakin besar, seiring dengan semakin lamanya perlakuan uap. Namun tidak demikian dengan papan tanpa katalis dan papan dengan menggunakan katalis CaCl₂. Nilai IB untuk papan semen tanpa katalis tidak menunjukkan pola yang teratur. Sedangkan nilai IB pada papan semen dengan katalis CaCl₂ 5%, memiliki nilai optimal pada perlakuan uap 30 menit. Nilai IB tertinggi adalah pada papan semen serat dengan perlakuan uap 120 menit dan penambahan katalis MgCl₂ 5% (5.88 kgf/cm²). Sedangkan nilai IB terendah adalah pada papan semen tanpa katalis dengan perlakuan uap 120 menit (0.03 kgf/cm²). Papan semen yang memenuhi standard adalah papan semen perlakuan uap serat 120 menit dengan katalis MgCl₂ 5% (5.88 kgf/cm²). Papan semen tersebut memiliki nilai IB yang lebih tinggi dari batas minimal yang ditetapkan standard ISO 8335 (1987) yaitu 5 kgf/cm². Nilai IB papan semen serat Sisal selengkapnya tersaji pada Gambar 5.

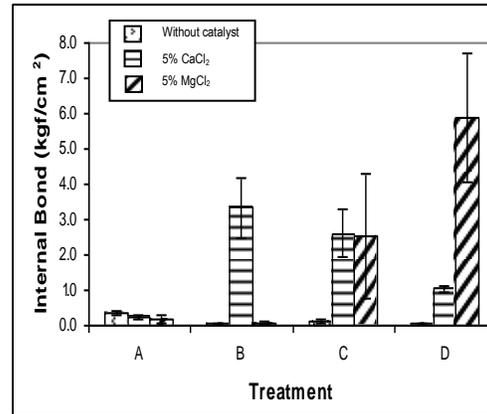


Fig 5. Internal bond of Sisal fiber cement bonded board at different treatment
Note : see Fig 1.

Papan semen serat dengan nilai IB memenuhi standard ISO 8335 (1987), memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai IB papan semen pelepah Kelapa Sawit dengan katalis MgCl₂ 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.2 (sekitar 0.3 kgf/cm²), namun lebih kecil dibandingkan papan semen batang Kelapa Sawit dengan katalis MgCl₂ 5% dan perbandingan partikel semen 1 : 2.7 (sekitar 11 kgf/cm²) (Hermawan *et al.* 2001). Nilai IB dari papan semen serat Sisal ini juga memiliki nilai lebih baik jika dibandingkan nilai IB dari papan semen Bambu dengan kerapatan papan 1.095 g/cm³, perbandingan semen : partikel : air sebesar 2.2 : 1.0 : 1.32 dan penambahan CaCl₂ sebesar 10% (sekitar 4.1 kgf/cm²) (Ma *et al.* 1997).

Kuat Tarik Sekrup (Screw withdrawal, SW). Nilai SW panel Sisal berkisar antara 4.59 kgf sampai 36.11 kgf. Nilai SW papan semen dengan penambahan katalis lebih besar dibandingkan dengan papan semen tanpa katalis.

Nilai SW tertinggi adalah pada papan semen serat dengan perlakuan uap 60 menit dan penambahan katalis $MgCl_2$ 5% (36.11 kgf). Sedangkan nilai SW terendah adalah pada papan semen tanpa katalis dengan perlakuan uap 120 menit. Berdasarkan standard pembuatan papan semen dengan menggunakan standard JIS A 5908 (1994) yang mensyaratkan bahwa nilai SW papan partikel minimal adalah 30 kgf, maka yang memenuhi standard adalah papan semen perlakuan uap serat 30 menit dengan katalis $CaCl_2$ 5% (32.14 kgf), papan semen perlakuan uap serat 60 menit dengan katalis $MgCl_2$ 5% (36.11 kgf), dan papan semen perlakuan uap serat 120 menit dengan katalis $CaCl_2$ 5% (33.88 kgf). Nilai SW selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 6.

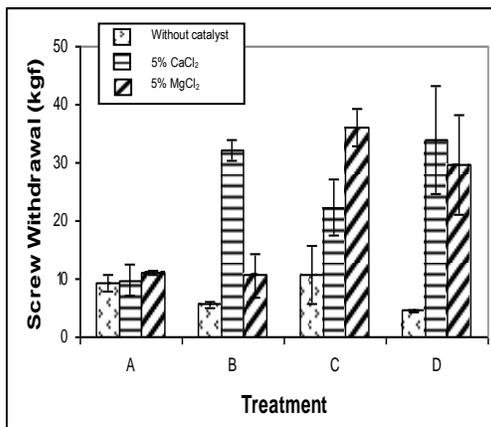


Fig 6. Screw withdrawal of Sisal fiber cement bonded board at different treatment.

Note : see Fig 1.

Papan semen serat dengan nilai SW memenuhi standard JIS A 5908 (1994), memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai SW papan semen Bambu dengan katalis $MgCl_2$ 5%, yaitu sebesar 32 kgf (Sulastiningsih *et al.* 2000).

Analisis Statistika

Untuk mengetahui perlakuan terhadap serat ataupun pemberian katalis berpengaruh pada besarnya sifat fisis dan mekanis, dilakukan analisis statistika terhadap data yang ada. Pengolahan dilakukan menggunakan *software* Minitab versi 14. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 2. Statistical analysis of physical and mechanical properties of cement bonded fiber board.

	MC	TS	MOE	MOR	IB	SW
Treatment of Sisal fiber	0.002*	0.000*	0.038*	0.000*	0.000*	0.000*
Catalyst	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Interaction between Treatment of Sisal fiber * catalyst	0.003*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

Note : *) significant at level 5% ; value at table as p-value from ANOVA

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa interaksi antara pemberian perlakuan uap terhadap serat dan pemberian katalis berpengaruh nyata terhadap seluruh sifat fisis dan mekanis papan, ditunjukkan dengan nilai probability $p < \alpha$ ($p < 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian perlakuan uap terhadap Sisal dan pemberian katalis cukup efektif untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanis papan dibanding papan yang tidak diberi perlakuan uap pada serat dan tidak diberi katalis.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi antara perlakuan uap pada serat dan penambahan katalis $CaCl_2$ dan $MgCl_2$ sebanyak 5% dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis papan semen serat Sisal jika dibandingkan papan semen tanpa perlakuan uap pada serat dan tanpa penambahan katalis.

Papan semen terbaik adalah papan semen serat perlakuan *autoclave* selama 120 menit dengan penambahan katalis $MgCl_2$ 5%, dimana memiliki nilai sifat fisis dan mekanis yang memenuhi standar.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2006. Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat, Departemen Pertanian. Informasi Serat Alam (Komunikasi Instansi).
- Guler, C.; Y. Copur; M. Akgul; U. Buyuksari. 2007. Some Chemical, Physical and Mechanical Properties of Juvenile Wood from Black Pine (*Pinus nigra* Arnold) Plantation. *Journal of Applied Sciences* 7 (5): 755-758.
- Hermawan, D.; B. Subiyanto; S. Kawai. 2001. Manufacture and Properties of Oil Palm Frond Cement-Bonded Board. *Journal of Wood Science* 47 (3): 208-213
- ISO 8335. 1987. Cement-bonded Particleboards - Boards of Portland or Equivalent Cement Reinforced with Fibrous Wood Particles. International Organization for Standardization. Geneva.
- JIS A 5908. 1994. Particles Boards, Japanese Standard Association, Japan.
- Li, Y.; Y.W. Mai; L. Ye. 2000. Sisal Fibre and Its Composites: A Review of Recent Developments. *Composites Science and Technology* 60: 2037-2055.

- Ma, L.F.; Y. Kuroki; W. Nagadomi; B. Subiyanto; S. Kawai; H. Sasaki. 1997. Manufacture of Bamboo-Cement Composites II. Effects of Additives on Hydration Characteristics of Bamboo-Cement Mixtures. *Mokuzai Gakkaishi, Journal of the Japan Wood Research Society* 43: 754-761.
- Ma, L.F.; H. Yamauchi; O.R. Pulido; Y. Tamura; H. Sasaki; S. Kawai. 2000. Manufacture of Cement-bonded Boards from Wood and Other Lignocellulosic Materials: Relationships between Cement Hydration and Mechanical Properties of Cement-bonded Boards. *Wood-Cement Composites in the Asia - Pacific Region, Proceeding of a Workshop held at Rydges Hotel, Canberra, Australia, on 10 December 2000. Page: 13-23.*
- Mattone, R. 2005. Sisal Fibre Reinforced Soil or Cactus Pulp in Bahareque Technique. *Cement & Concrete Composites* 27: 611-616.
- Mishra, S.; A.K. Mohanty; L.T. Drzal; M. Misra; G. Hinrichsen. 2004. A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and their Biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering* 289: 955-974.
- Munawar, S.S. 2008. Properties of Non-Wood Plant Fiber Bundles and the Development of their Composites [Dissertation]. Graduate School of Agriculture, Departement of Forestry and Biomaterials Science, Kyoto University.
- Sastrosupadi, A. 2006. Potensi Jawa Timur Sebagai Penghasil Serat Alam untuk Berbagai Agro Industri. *Sinar Tani. Edisi 12 - 18 April 2006.*
- Sulastiningsih, I.M.; Nurwati; S. Murdjoko; S. Kawai. 2000. The Effects of Bamboo:Cement Ratio and Magnesium Chloride (MgCl₂) Content on the Properties of Bamboo-Cement Boards. *Wood-Cement Composites in the Asia - Pacific Region, Proceeding of a Workshop held at Rydges Hotel, Canberra, Australia, on 10 December 2000. Page: 66-71.*
- Syamani, F.A.; K.W. Prasetyo; I. Budiman; Subyakto; B. Subiyanto. 2008. Sifat Fisis Mekanis Papan Partikel dari Serat Sisal atau Serat Abaka setelah Perlakuan Uap. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 6 (2): 56-62.

Makalah masuk (*received*) : 08 Januari 2008

Diterima (*accepted*) : 18 Mei 2008

Revisi terakhir (*final revision*) : 23 April 2009

Ismail Budiman, Mohamad Gopar, Subyakto dan Bambang Subiyanto

UPT Balai Penelitian dan Pengembangan Biomaterial - LIPI

(*Research & Development Unit for Biomaterials - LIPI*)

Jl. Raya Bogor Km 46, Cibinong, Bogor

Tel. : 021 - 87914511

Fax. : 021 - 87914510

E-mail : budimanismail@yahoo.com

ismail.budiman@lipi.go.id