

**Pengaruh Rasio Semen/Serat Dan Jenis Katalis Terhadap Kekuatan *Fiber-Cement Board*
Dari Limbah Kertas Kardus**
**(*The Influence of Cement-to-Fiber Ratio and Type of Catalyst on Strength Properties of
Fiber-Cement Board Made from Old Corrugated Paper*)**

Luthfi Hakim* dan Tito Sucipto

Program Studi Teknologi Hasil Hutan Fakultas Pertanian USU. Jalan Tri Dharma Ujung No. 1 Kampus USU Medan
20155. Telp/Faks : (061) 8220605 / (061) 8201920 (Penulis korespondensi, Email : luthfi@usu.ac.id
/luthfie_17@yahoo.com)

Diterima: 27 April 2012. Disetujui: 16 Juni 2012

Abstract

Fiber cement board (FCB) made from old corrugated paper has not to develop. The main objective of this study was to evaluate the suitability of old corrugated paper as reinforcement for cement-bonded board and the study was undertaken to: 1) determine the optimum cement-to-fiber ratio, the best type of catalyst; 2) determine the strength properties of cement-bonded boards manufactured from the old corrugated paper; 3) determine the effect of cement-to-fiber ratio on strength properties of cement-bonded boards from old corrugated paper. The treatments of cement/fiber ratio were 60:40 ; 50:50 and 40:60. The catalyst were aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), sodium silicate (Na_2SiO_3), and calcium chloride ($CaCl_2$) as an accelerator. Old Corrugated paper was soaked into cold water for 48 hours and continued re-pulped with disintegrator at 2 % consistency for 15 minutes until the fiber separated. The boards were pressed by cold press at 25 kg/cm² for 15 minutes with density target at 1 g/cm³. Methods of this research were two steps curing. The first step was air curing for 48 hours and continued of second step was oven curing at 80° C for 48 hours. The result of the research showed that the density of boards was average 1.03 g/cm³. The effect of cement-to-fiber ratio on the strength properties showed that 60:40 is better rather than 50:50 and 40:60. The best Catalyst is calcium chloride ($CaCl_2$).

Keywords: catalyst, fiber-cement board, old corrugated paper, strength properties.

PENDAHULUAN

Teknologi konstruksi ringan dapat dibuat berdasarkan teknologi papan semen (*cement board*) yang memanfaatkan semen sebagai perekat dalam pembuatan papan komposit. Limbah kertas kardus (*old corrugated paper*) merupakan limbah yang mempunyai bahan dasar serat (*fiber*) dari kayu yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai bahan konstruksi ringan. Progres penelitian *Forest Products Laboratory* (FPL) USA menyatakan bahwa bahan baku serat dapat dapat dijadikan beberapa produk antara lain kertas, papan serat, papan partikel, papan semen, dan produk-produk yang lain (*Forest Products Laboratory*, 1995).

Modifikasi papan semen menjadi bahan konstruksi ringan memungkinkan untuk dikembangkan, mengingat bahan baku yang digunakan adalah berupa serat sekunder. Kertas kardus jika dilakukan pulping ulang (*repulping*) akan menghasilkan serat yang cukup bagus. Bahan konstruksi ringan ini diharapkan dapat menggantikan bahan konstruksi konvensional berupa pasir, batu-bata dan batu kali. Serat limbah kertas kardus

berperan menggantikan pasir dalam adonan material konstruksi.

Papan semen yang dibuat dengan menggunakan serat daur ulang menjadi salah satu alternatif konstruksi yang layak untuk dipertimbangkan. Papan semen dengan bahan baku serat biasa disebut sebagai *Fiber Cement Composite* (FPC). Fernandez *et.al* (2000a) telah memanfaatkan serat jerami untuk pembuatan papan semen yang kemudian disebut sebagai *fiber-cementboard* (FPC). Papan semen tersebut mempunyai sifat yang cukup baik, namun kelemahannya adalah ketersediaan bahan baku yang sangat kurang untuk bisa diaplikasikan ke dalam industri. Penelitian dengan menggunakan bahan baku dari sludge primer industri pulp dan kertas dengan sifat fisik dan mekanis yang bagus. Namun, penelitian ini tidak membuat target kerapatan papan semen yang dibuat, sehingga kelemahan dari penelitian ini adalah papan yang dihasilkan mempunyai kerapatan yang berbeda-beda dan memiliki bobot yang berat Fernandez *et.al* (2000b).

Katalis yang sering digunakan dalam proses pengerasan papan semen dan berfungsi sebagai akselerator antara lain adalah CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Na_2SiO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan lain-lain (Warder *et al.*, 2000). Akselerator berfungsi sebagai bahan yang dapat mempercepat penguapan air dari papan semen, sehingga proses pengerasan papan menjadi lebih cepat. Kalsium klorida (CaCl_2) merupakan katalis yang cukup baik jika digunakan dalam pengerasan papan semen yang menggunakan bahan baku serbuk kayu.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kelayakan teknis limbah kertas kardus untuk dijadikan papan semen, menentukan perbandingan optimum semen/serat dan jenis katalis terbaik, menentukan kekuatan komposit semen-serat yang dibuat dari limbah kertas kardus dan melihat pengaruh perbandingan semen/serat pada sifat kekuatan komposit semen-serat dari limbah kertas kardus.

METODE PENELITIAN

Limbah kertas kardus yang sudah dipilah, untuk selanjutnya dilakukan perendaman dalam air panas dengan suhu 70 °C sampai dalam keadaan lunak dan mudah dipisahkan seratnya secara individu. Pemisahan serat dengan metode *hydropulping* (distintegrator) yaitu pulping dengan menggunakan air sebagai bahan kimia pemasak pada suhu 60-80 °C dengan konsistensi 2 % sampai dengan serat terpisah. Setelah serat terpisah sempurna secara individu, kemudian dilakukan pengeringan dengan cara meniriskan serat yang kemudian dikeringkan sampai dengan kadar air 15 %.

Serat yang diperoleh akan diformulasikan dengan semen dengan perbandingan 40:60, 50:50, dan 60:40 Fernandez *et.al* (2000b) dan penambahan katalis kalsium klorida (CaCl_2), natruim silicate (Na_2SiO_3), dan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ masing-masing sebanyak 2% (berdasarkan berat semen). Jumlah air yang digunakan untuk formulasi papan semen adalah 30 % dari berat semen dan serat. Penambahan katalis dilakukan setelah serat, semen, dan air dicampurkan. Papan semen dibuat dengan ukuran 30 cm x 30 cm x 1 cm dengan kerapatan target 1 g/cm³ dengan proses kempa dingin (*cold press*) selama 15 menit pada tekanan 25 kg/cm². Proses pengerasan (*curing*) dilakukan dengan 2 tahap yaitu tahap pertama proses pengerasan udara selama 48 jam dan dilanjutkan dengan pengovenan papan selama 48 jam pada suhu 80°C.

Pengujian kerapatan dilakukan pada kondisi kering udara. Papan semen ditimbang beratnya, lalu diukur rata-rata panjang, lebar dan tebalnya untuk menentukan volumenya.

Contoh uji berukuran 10 cm x 10 cm x 1 cm. Nilai kerapatan papan semen dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{B}{V}$$

Keterangan :

- ρ = kerapatan (g/cm³)
- B = berat contoh uji kering udara (g)
- V = volume contoh uji kering udara (cm³)

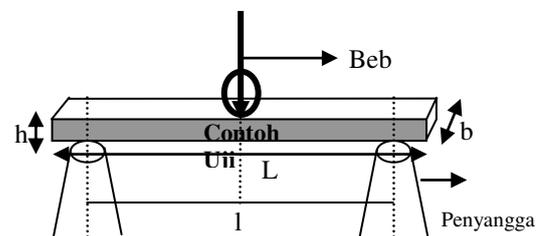
Pengujian sifat kekuatan papan semen ini meliputi modulus patah (*modulus of rupture / MOR*), modulus lentur (*modulus of elasticity / MOE*), kuat rekat internal (*internal bond / IB*) dan kuat pegang skrup (*screw holding power/ SHP*). Pengujian MOR dan MOE berdasarkan standar JIS A 5414-1993. Contoh uji berukuran 20 cm x 5 cm x 1 cm, diuji dengan menggunakan alat *universal testing machine* (UTM) merk instron. Cara pembebanan pada sampel ditunjukkan pada Gambar 1.

Nilai MOR dan MOE papan semen dihitung berdasarkan rumus:

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad MOE = \frac{\Delta P \bar{E}^3}{4bh^3 \Delta Y}$$

Keterangan :

- MOR = *modulus of rupture* (kg/cm²)
- P = beban maksimum (kg)
- L = jarak sangga (cm)
- b = lebar contoh uji (cm)
- h = tebal contoh uji (cm)
- MOE = *modulus of elasticity* (kg/cm²)
- ΔP = beban sebelum proporsi (kg)
- ΔY = lenturan pada beban sebelum batas proporsi (cm)



Gambar 1. Cara pembebanan pengujian MOR dan MOE

Keteguhan rekat internal (*internal bond*) diperoleh dengan cara merekatkan kedua permukaan contoh uji pada balok besi kemudian balok besi tersebut ditarik secara berlawanan sampai pada beban maksimum. Contoh uji berukuran 5 cm x 5 cm x

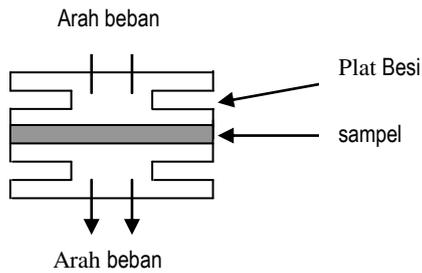
1 cm. Keteguhan rekat papan semen dihitung berdasarkan rumus :

$$IB = \frac{P_{max}}{A}$$

Keterangan :

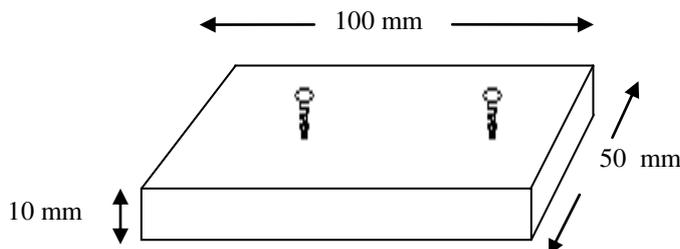
- IB = internal bond (kg/cm²)
- P_{max} = gaya maksimum yang bekerja (kg)
- A = luas permukaan contoh uji (cm²)

Cara pengujian *internal bond* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian keteguhan rekat internal (*internal bond*)

Pengujian kuat pegang sekrup (*screw holding power*) dilakukan pada kedua sisi permukaan papan semen seperti disajikan pada Gambar 3. Sekrup yang digunakan berdiameter 2,7 mm dan panjang 16 mm, kemudian dimasukkan hingga mencapai kedalaman 8 mm. Contoh uji berukuran 10 cm x 5 cm x 1 cm. Nilai kuat pegang sekrup dinyatakan oleh besarnya beban maksimum yang dicapai untuk mencabut sekrup yang dinyatakan dalam kilogram (kg).



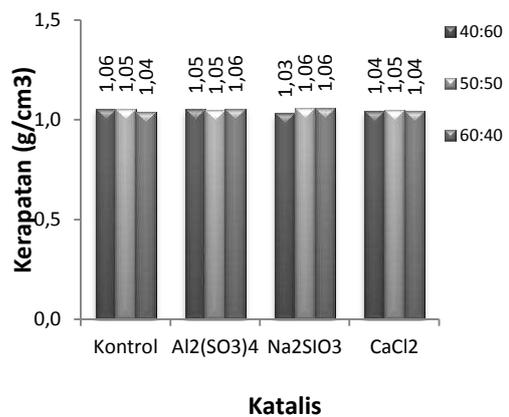
Gambar 3. Posisi sekrup pada pengujian kuat pegang sekrup

Analisis statistik menggunakan rancangan acak lengkap dua faktor yaitu faktor akselerator (katalis) dan faktor perbandingan semen/serat dan dilakukan dengan tiga ulangan. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak Minitab 14. Uji lanjut yang digunakan adalah *Duncan Multiple Range Test* (DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan

Kerapatan FCB merupakan salah satu sifat fisis papan komposit yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis terutama sifat kekuatannya. Hasil pengujian kerapatan menunjukkan kerapatan FCB yang dihasilkan berkisar antara 1,03-1,06 g/cm³ (Gambar 4) . Hal ini berarti bahwa FCB yang dihasilkan sudah mendekati sasaran yang diinginkan yaitu 1 g/cm³. Kerapatan FCB biasanya dibuat pada kisaran kerapatan 0,8~1,4 g/cm³ (Eroglu *et. al.*, 2007).



Gambar 4. Grafik Kerapatan FCB

Fernandez *et al.* (2000a) tidak menetapkan sasaran kerapatan dalam menelitiannya dan menyimpulkan bahwa pada kondisi kadar air yang sama, semakin tinggi kerapatan FCB semakin tinggi pula kekuatannya. Namun, penelitian ini menunjukkan bahwa kerapatan papan semen yang dihasilkan sangat seragam karena menggunakan kerapatan sasaran.

Tabel 1. Analisis sidik ragam hasil pengujian kerapatan

	SK	DB	JK	JKT	F	p
Akselerator	3	0.0009	0.0003	0.15	0.927tn	
Rasio	2	0.0001	0.0000	0.01	0.986tn	
Semen:serat	6	0.0199	0.0033	1.75	0.152tn	
Error	24	0.0455	0.0019			
Total	35	0.0664				

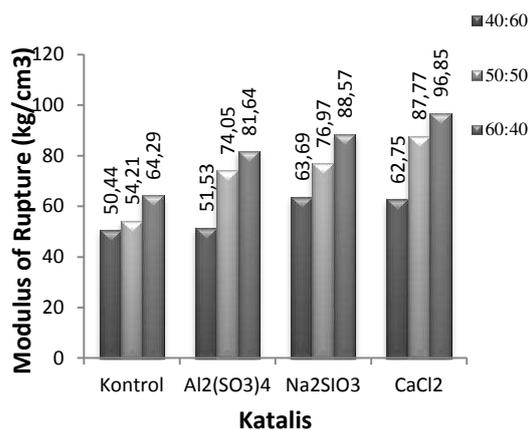
Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, dan ^{tn} = tidak nyata.

Hasil pengujian kerapatan tidak berpengaruh nyata baik faktor akselerator, rasio semen:serat, dan interaksi antara keduanya (Tabel 1). Kerapatan target

sudah ditetapkan sebelumnya yaitu sebesar 1 g/cm³. Kerapatan ini sudah cukup baik dan cukup ringan jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mendapatkan kerapatan papan semen mencapai 1,72 g/cm³ (Moslemi dan Pfister, 1987 ;Fernandez *et al.*, 2000a). Kerapatan papan semen yang cukup kecil, akan menyebabkan berat papan menjadi lebih ringan pada kondisi kering udara.

Modulus Patah (*Modulus of Rupture / MOR*)

Modulus of Rupture (MOR) atau disebut sebagai ketahanan patah merupakan salah satu sifat mekanis yang sangat penting terutama menyangkut masalah pembebanan pada FCB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FCB dengan nilai MOR tertinggi adalah pada perlakuan CaCl₂ dengan perbandingan semen:serat 60:40 yaitu sebesar 96,85 kg/cm³. Nilai terendah adalah perlakuan tanpa katalis dengan perbandingan semen : serat 40:60 sebesar 50,44 kg/cm³ (Gambar 5).



Gambar 5. Modulus of Rupture FCB

Hasil anova MOR menunjukkan bahwa kedua faktor dan interaksi antara semen:serat dan akselerator berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai MOR (Tabel 2). Nilai tanpa katalis pada akselerator sangat berbeda nyata dengan semua papan yang menggunakan akselerator. Akselerator Na₂SiO₃, Al₂(SO₄)₃ dan CaCl₂ juga berbeda nyata. Rasio semen : serat juga menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antar perlakuan. Semakin banyak semen yang digunakan semakin kuat papan yang dihasilkan. Rasio semen:serat 60 : 40 merupakan rasio terbaik dalam menghasilkan nilai MOR. Nilai MOR ini jauh lebih tinggi dari penelitian Papadopoulus (2008) yang menggunakan partikel kayu sebagai bahan baku papan komposit. Hal ini bisa dijelaskan bahwa penggunaan serat dapat

meningkatkan luas permukaan bahan baku dibanding dengan partikel karena sifat morfologi bahan baku yang berbeda.

Tabel 2. Analisis sidik ragam hasil pengujian MOR

	SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3		3419.67	1139.89	165.98	0.000**
Rasio	2		4060.11	2030.06	295.60	0.000**
Semen:serat						
Interaksi	6		520.20	86.70	12.62	0.000**
Error	24		164.82	6.87		
Total	35		8164.80			

Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, dan ** = nyata

Penggunaan CaCl₂ merupakan akselerator yang paling baik dibanding dengan dua akselerator lainnya. Kalsium karbonat merupakan akselerator yang biasa digunakan untuk membuat papan semen dengan bahan baku kayu, namun belum banyak digunakan untuk akselerator papan semen dengan bahan baku fiber. Menurut Sulastiningsih dan Sutigno (2008), CaCl₂ merupakan akselerator yang sangat baik untuk pembuatan papan semen karena proses pengerasan papan semakin cepat dengan suhu hidrasi yang sangat baik. Dalam penelitian ini, akselerator berperan dalam menentukan sifat ketahanan patah (MOR).

Interaksi antara akselerator dan rasio semen : serat terjadi perbedaan yang signifikan pada perlakuan CaCl₂ (60:40) dan Na₂SiO₃ (60:40) terhadap seluruh perlakuan (Tabel 3). Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa akselerator terbaik adalah CaCl₂, dikuti Na₂SiO₃ dan Al₂(SO₄)₃. Perlakuan yang tidak menunjukkan perbedaan adalah perlakuan CaCl₂ (50:50) dan Al₂(SO₄)₃ (60:40), Na₂SiO₃ (50:50) dan Al₂(SO₄)₃ (50:50), CaCl₂ (40:60) ; Na₂SiO₃ (40:60) dan tanpa katalis (60:40), Al₂(SO₄)₃ (40:60) ; tanpa katalis (50:50) dan tanpa katalis (40 60). Tabel 3 menunjukkan bahwa CaCl₂ (60:40) merupakan perlakuan dengan hasil yang sangat baik.

Terjadinya interaksi antara akselerator dan perbandingan semen:serat bisa dijelaskan bahwa semakin besar persentase semen dan penggunaan CaCl₂ maka semakin tinggi nilai ketahanan patah papan. Penggunaan CaCl₂ dalam pengerasan papan semen dengan bahan baku serat lebih cepat jika persentase semen lebih banyak dibanding dengan persentase serat. Hal ini bisa dijelaskan karena reaksi yang terjadi antara semen dan akselerator akan lebih cepat daripada reaksi antara serat dan akselerator.

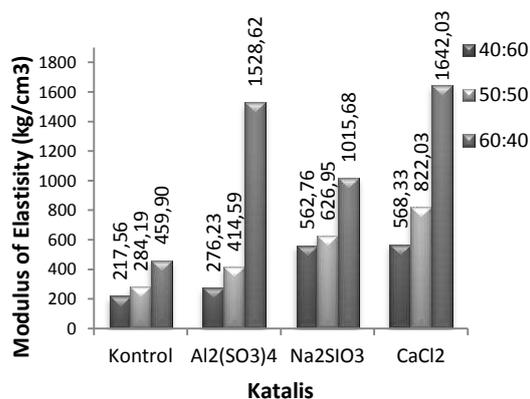
Tabel 3. Hasil uji lanjut duncan pada MOR

Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan
a. Akselerator	
- Tanpa katalis (kontrol)	56,31 / d
- Al ₂ (SO ₄) ₃	69.07 / c
- Na ₂ SiO ₃	76.41 / b
- CaCl ₂	82.45 / a
b. Rasio semen : serat	
- 40 : 60	57.10 / c
- 50 : 50	73.69 / b
- 60 : 40	82.84 / a
c. Interaksi	
- Tanpa katalis vs 40 : 60	50.44 / f
	50 : 50 54.21 / f
	60 : 40 64.29 / e
- Al ₂ (SO ₄) ₃ vs 40 : 60	51.53 / f
	50 : 50 74.05 / d
	60 : 40 81.64 / c
- Na ₂ SiO ₃ vs 40 : 60	63.69 / e
	50 : 50 76.97 / d
	60 : 40 88.57 / b
- CaCl ₂ vs 40 : 60	62.75 / e
	50 : 50 87.77 / c
	60 : 40 96.85 / a

Keterangan : angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata

Ketahanan Lentur (Modulus of Elasticity / MOE)

Modulus of Elasticity (MOE) merupakan sifat mekanis yang menunjukkan sifat ketahanan FCB terhadap pembebanan dalam batas proporsi sebelum terjadi patah. Nilai tertinggi adalah pada perlakuan CaCl₂ (60:40) sebesar 1642,03 kg/cm² dan nilai terendah adalah perlakuan tanpa katalis (40:60) sebesar 217,56 kg/cm² (Gambar 6).



Gambar 6. Modulus of Elasticity FCB

Hasil anova MOE (Tabel 4) menunjukkan bahwa kedua faktor dan interaksi antara semen : serat dan akselerator berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai MOE.

Tabel 4. Analisis sidik ragam hasil pengujian MOE

	SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	2190485	730162	62.56	0.000**	
Rasio	2	3911051	1955526	167.56	0.000**	
Semen:serat						
Interaksi	6	1261594	210266	18.02	0.000**	
Error	24	280100	11671			
Total	35	7643230				

Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, ** = nyata

Nilai tanpa katalis pada akselerator sangat berbeda nyata dengan semua papan yang menggunakan akselerator. Akselerator Na₂SiO₃ dan Al₂(SO₄)₃ tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata dengan perlakuan akselerator CaCl₂. Rasio semen : serat menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara rasio 60:40 dengan perlakuan yang lain. Rasio 50:50 dan rasio 40:60 tidak menunjukkan perbedaan. Semakin banyak semen yang digunakan semakin kuat papan yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi rendahnya nilai MOE terletak pada komposisi semen dan fiber yang digunakan. Komposisi semen yang lebih tinggi akan cenderung meningkatkan ikatan antar fiber dan semen (aksi bersikunci). Menurut Ellyawan dan Wibowo (2008), pengaruh rasio pemadatan yang bertambah besar meningkatkan kekakuan atau elastisitas, hal ini disebabkan kepadatan semakin meningkat dan jumlah rongga berkurang sehingga meningkatkan kekuatan material.

Rasio semen : serat 60 : 40 merupakan rasio terbaik dalam menghasilkan FCB dengan nilai MOE yang tinggi. Hal ini bisa dijelaskan bahwa semen memegang peranan dalam sistem perekatan antar serat, sehingga semakin banyak semen yang digunakan semakin baik perekatan terjadi. Hal inilah yang menyebabkan sifat MOE semakin meningkat (Tabel 5). Menezzi *et al.*, (2007) menyatakan bahwa papan semen berbasis serat dengan kerapatan rendah dibawah 1 g/cm³ mempunyai MOE yang rendah juga, sehingga penambahan katalis mutlak diperlukan untuk meningkatkan sifat-sifat kekuatannya.

Akselerator terbaik adalah CaCl₂ karena lebih cepat reaksi pengerasannya dibandingkan dengan kedua akselerator lainnya (Tabel 5).. Sulastiningsih dan Sutigno (2008) menyatakan bahwa dengan bahan baku partikel, CaCl₂ merupakan katalis yang paling baik dibanding dengan katalis-katalis lain yang biasa digunakan. Sedangkan dalam penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah serat, namun katalis CaCl₂ tetap memberikan reaksi pengerasan yang

cepat. Dengan demikian, Katalis CaCl_2 dapat bereaksi dengan baik dalam berbagai bahan baku yang berbeda.

Tabel 5. Hasil uji lanjut duncan pada MOE

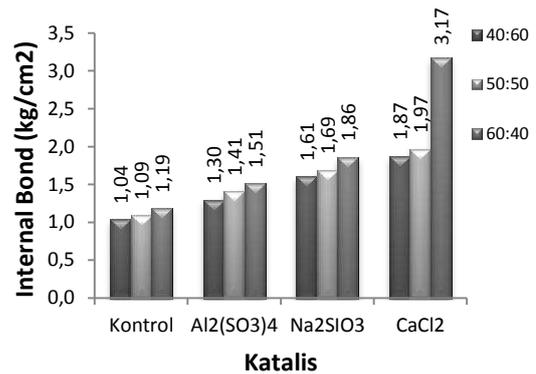
Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan	
a. Akselerator		
- Tanpa katalis (kontrol)	320.55 /c	
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	739.81 /b	
- Na_2SiO_3	735.13 /b	
- CaCl_2	1010.80 /a	
b. Rasio semen : serat		
- 40 : 60	406.22 /b	
- 50 : 50	550.51 /b	
- 60 : 40	1161.56 /a	
c. Interaksi		
- Tanpa katalis	vs	
	40 : 60	217.56 /e
	50 : 50	284.19 /e
	60 : 40	459.90 /d
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	vs	
	40 : 60	276.23 /e
	50 : 50	414.59 /de
	60 : 40	1528.62 /a
- Na_2SiO_3	vs	
	40 : 60	562.76 /d
	50 : 50	626.95 /c
	60 : 40	1015.68 /b
- CaCl_2	vs	
	40 : 60	568.33 /d
	50 : 50	822.03 /b
	60 : 40	1642.03 /a

Keterangan : angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata

Interaksi yang terjadi antara akselerator dan rasio semen : serat terjadi perbedaan pada perlakuan CaCl_2 (60:40) dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (60:40) terhadap perlakuan yang lain. Perlakuan yang tidak menunjukkan perbedaan adalah perlakuan CaCl_2 (50:50) dan Na_2SiO_3 (60:40), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (40:60), CaCl_2 (40:60) dan tanpa katalis (60:40), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (40:60) ; tanpa katalis (50:50) dan tanpa katalis (40 60). Tabel 5 menunjukkan bahwa CaCl_2 (60:40) merupakan perlakuan dengan hasil yang terbaik.

Kuat Rekat Internal (*Internal Bond*)

Internal bond merupakan salah satu sifat kekuatan FCB yang menunjukkan kekuatan tarik antara semen dan serat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan rekat internal yang tertinggi adalah perlakuan CaCl_2 (60:40) yaitu sebesar 3,17 kg/cm^2 , sedangkan internal bond terendah adalah perlakuan tanpa katalis (40:60) yaitu sebesar 1,04 kg/cm^2 (Gambar 7).



Gambar 7. Kuat rekat internal FCB

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa akselerator dan rasio semen : serat pengaruhnya sangat signifikan terhadap *internal bond* dan terjadi interaksi antar keduanya (Tabel 6).

Tabel 6. analisis sidik ragam hasil pengujian kuat rekat internal

	SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	7.499	2.499	137.25	0.000**	
Rasio Semen:serat	2	1.563	0.781	42.92	0.000**	
Interaksi	6	1.789	0.298	16.37	0.000**	
Error	24	0.437	0.018			
Total	35	11.289				

Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, dan ** = nyata

Akselerator mempunyai peran dalam hal pengerasan papan, sehingga ikatan antar semen akan semakin baik jika pengerasannya baik (Ellyawan dan Wibowo (2008) ; Menezzi (2007). Akselerator terbaik untuk pengaruh ketahanan lentur papan semen adalah CaCl_2 diikuti Na_2SiO_3 , dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Akselerator CaCl_2 berbeda nyata dengan kedua akselerator lainnya. Namun, akselerator $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ tidak berbeda nyata dengan tanpa katalis. Rasio semen : serat 40:60 tidak berbeda nyata dengan rasio 50:50, namun keduanya berbeda nyata dengan rasio 60:40. Semen juga berperan sebagai perekat, semakin banyak semen yang digunakan maka, kualitas ikatan antara semen dan serat juga akan semakin baik, sehingga perbandingan terbaik adalah 60:40 diikuti 50:50 dan 40:60 (Tabel 7).

Tabel 7. Hasil uji lanjut duncan pada kuat rekat internal

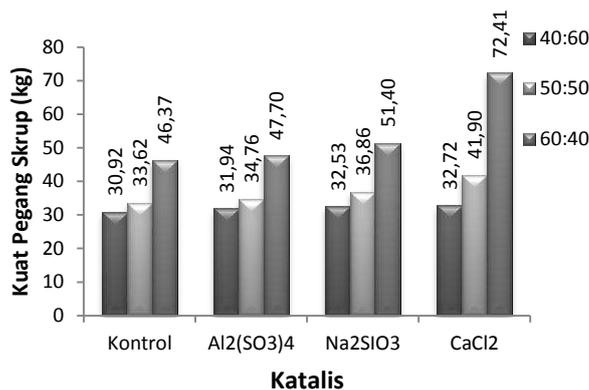
Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group	Duncan
a. Akselerator		
- Tanpa katalis (kontrol)	1.10 / c	1.41 / c
- Al ₂ (SO ₄) ₃	1.72 / b	
- Na ₂ SiO ₃	2.34 / a	
- CaCl ₂		
b. Rasio semen : serat		
- 40 : 60	1.45 / b	
- 50 : 50	1.55 / b	
- 60 : 40	1.93 / a	
c. Interaksi		
- Tanpa katalis vs	40 : 60	1.04 / e
	50 : 50	1.09 / e
	60 : 40	1.19 / d
- Al ₂ (SO ₄) ₃ vs	40 : 60	1.30 / cd
	50 : 50	1.41 / cd
	60 : 40	1.51 / c
- Na ₂ SiO ₃ vs	40 : 60	1.61 / c
	50 : 50	1.69 / bc
	60 : 40	1.86 / bc
- CaCl ₂ vs	40 : 60	1.87 / b
	50 : 50	1.97 / b
	60 : 40	3.17 / a

Keterangan : angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata

Interaksi antara rasio semen : serat dan akselerator terjadi perbedaan yang nyata. Beberapa perlakuan ada yang tidak berbeda nyata seperti perlakuan tanpa katalis (40:60) dan tanpa katalis (50:50), antara Al₂(SO₄)₃ (40:60) dan Al₂(SO₄)₃ (50:50), antara Na₂SiO₃ (50:50) dan Na₂SiO₃ (60:40), antara Al₂(SO₄)₃ (60:40) dan Na₂SiO₃ (40:60), antara CaCl₂ (40:60) dan CaCl₂ (50:50). Akselerator CaCl₂ (60:40), tanpa katalis (60:40) sangat berbeda nyata dengan perlakuan manapun.

Kuat Pegang Skrup (Screw Holding Power)

Kuat pegang skrup adalah sifat mekanis yang menunjukkan kekuatan *fiber cement board* untuk menahan beban saat sebuah skrup dicabut keluar dari papan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi terjadi pada perlakuan CaCl₂ (60:40) sebesar 72,41 kg, sedangkan kekuatan terendah pada papan dengan perlakuan tanpa katalis (40:60) sebesar 30,92 kg. (Gambar 8).



Gambar 8. Kuat Pegang Skrup *fiber cement board*

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa akselerator dan rasio semen : serat pengaruhnya sangat signifikan terhadap kekuatan pegang skrup dan terjadi interaksi antar keduanya (Tabel 8).

Tabel 8. Analisis sidik ragam Hasil Pengujian Kuat Pegang Skrup

SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	3599.63	1199.88	78.26	0.000**
Rasio	2	571.84	285.92	18.65	0.000**
Semen:serat					
Interaksi	6	639.82	106.64	6.95	0.000**
Error	24	367.98	15.33		
Total	35	5179.28			

Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, dan ** = nyata

Akselerator CaCl₂ berbeda nyata dengan kedua akselerator lainnya. Namun akselerator Al₂(SO₄)₃ tidak berbeda nyata dengan tanpa katalis. Rasio semen : serat 40:60 tidak berbeda nyata dengan rasio 50:50, namun rasio 40:60 berbeda nyata dengan rasio 60:40 (Tabel 4). CaCl₂ mempunyai sifat yang sangat cepat dalam pengerasan semen dibanding dengan Al₂(SO₄)₃ dan Na₂SiO₃, sehingga kuat pegang skrup tertinggi terjadi pada akselerator CaCl₂ (Tabel 9).

Akselerator memegang peranan penting dalam pengerasan papan semen yang dihasilkan. Semakin cepat papan mengeras semakin kuat daya pegang skrupnya, hal ini bisa dijelaskan bahwa daya ikat papan yang keras terhadap skrup lebih kuat dibanding dengan daya ikat papan yang lembek terhadap skrup. Perbandingan semen:serat memegang peranan penting dalam kekuatan ikatan antara semen dan serat. Semakin banyak persentase semen yang digunakan semakin kuat ikatan serat dan semen.

Semen berfungsi sebagai perekat dalam pembuatan papan semen.

Tabel 9. Hasil uji lanjut duncan pada kuat pegang skrup

Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan
a. Akselerator	
- Tanpa katalis (kontrol)	31.80 / c
- $Al_2(SO_4)_3$	33.70 / c
- Na_2SiO_3	41.71 / b
- $CaCl_2$	57.17 / a
b. Rasio semen : serat	
- 40 : 60	37.05 / ab
- 50 : 50	39.87 / a
- 60 : 40	46.51 / a
c. Interaksi	
- Tanpa katalis vs	
40 : 60	30.92 / e
50 : 50	33.62 / e
60 : 40	46.37 / bc
- $Al_2(SO_4)_3$ vs	
40 : 60	31.94 / e
50 : 50	34.76 / e
60 : 40	47.70 / bc
- Na_2SiO_3 vs	
40 : 60	32.53 / e
50 : 50	36.86 / de
60 : 40	51.40 / b
- $CaCl_2$ vs	
40 : 60	32.72 / e
50 : 50	41.90 / cd
60 : 40	72.41 / a

Keterangan : angka-angka yang di ikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata

Interaksi antara rasio semen : serat dan akselerator terjadi perbedaan yang nyata. Beberapa perlakuan yang tidak berbeda nyata adalah perlakuan tanpa katalis (40:60), tanpa katalis (50:50), $Al_2(SO_4)_3$ (40:60), $Al_2(SO_4)_3$ (50:50), Na_2SiO_3 (40:60) dan $CaCl_2$ (40:60). Selanjutnya tanpa katalis (60:40) juga tidak berbeda nyata dengan $Al_2(SO_4)_3$ (60:40). Hanya Akselerator $CaCl_2$ (60:40) dan Na_2SiO_3 (60:40) yang sangat berbeda nyata dengan perlakuan manapun. Interaksi antara faktor akselerasi dan faktor perbandingan semen:serat menunjukkan bahwa semakin tinggi semen yang digunakan maka penggunaan akselerator juga akan mempengaruhi sifat pengerasan papan semen yang dihasilkan (Fernandes et al, 2000a ; Evans, 2000 ; Lai, 1996).

KESIMPULAN

Fiber cemen composite yang dihasilkan mempunyai kerapatan yang sesuai dengan sasaran kerapatan yang diharapkan.. *Fiber cemen composite* yang dihasilkan mempunyai sifat kekuatan yang baik, sehingga sangat fleksibel digunakan keperluan interior maupun eksterior terutama perbandingan semen/serat

terbaik sifat kekuatan adalah 60:40. Katalis terbaik dalam meningkatkan kekuatan adalah kalsium klorida ($CaCl_2$) yang berperan sebagai akselerator dalam proses pengerasan. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai suhu hidrasi pengerasan FCB, sehingga dapat diketahui suhu optimum dan reaksi pengerasan yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Ditjen Dikti) atas pendanaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Strategis Nasional tahun 2009 dengan nomor kontrak 078/H5.1.R/KEU/2009, Tanggal 1 April 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Coutts RSP. 2000. Natural Fiber-cement Composite : An Australian Perspectives. Di dalam *Proceeding Wood-Cement Composite in the Asia-Pacific Region*. hlm. 131-139. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 10 Desember 2000. Rydges Hotel, Canberra, Australia.
- Ellyawan, S.A., dan H. Wibowo. 2008. Modulus Elastisitas dan Modulus Pecah Papan Partikel Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*. Vol 1. No. 1.
- Eusebio DA, Cabangon RJ, Warden PG, and Coutts RSP. 1998. The Manufacture of Wood Fiber Reinforced Cement Composites From Eucalyptus pellita and Acacia mangium Chemithermomechanical Pulp. Di dalam : *Proceeding The fourth pacific rim bio-based composite symposium*. Institut Pertanian Bogor. 2-5 November 1998. Bogor.
- Eroglu H, Ucuncu O, Acar HH. 2007. The Effect of Dry Sludge Addition Supplied from Pulp Mill on The Compressive Strength of Cement. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. 42 (2). 169-174.
- Evans DP. 2000. Summary : An Introduction to Wood Cemen-Composite. Di dalam *Proceeding Wood-Cement Composite in the Asia-Pacific Region*. hlm. 7-10. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 10 Desember 2000. Rydges Hotel, Canberra, Australia.
- Fernandes EC, CRG Lamason, TS Delgado. 2000a. Cement-Bonded Board From Wastewater treatment sludge of a recycled paper Mill. Di dalam *Proceeding Wood-Cement Composite in the Asia-Pacific Region*. hlm. 73-80. Australian Centre for International Agricultural Research

- (ACIAR). 10 Desember 2000. Rydges Hotel, Canberra, Australia.
- Fernandes EC, VP Taja-on. 2000b. The use and processing of rice straw in the manufacture of cement-bonded fiberboard. Di dalam *Proceeding Wood-Cement Composite in the Asia-Pacific Region*. hlm. 49-54. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 10 Desember 2000. Rydges Hotel, Canberra, Australia.
- Forest Products Laboratory. 1995. *Recycling Research Progress at The Forest Product Laboratory*. USDA Madison. USA.
- Lai YZ. 1996. *Reactivity and Accessibility of Cellulose, Hemicellulose, and Lignins*. di dalam : *Chemical Modification of Lignocellulosic Materials*. Ed: David N-S. Hon. Mercel Dekker Inc. New York.
- Menezzi CHSD, Castro VGD, Souza MRD. 2007. Production and Properties of a Medium Density Wood-Cement Boards Produced With Oriented Strand and Silica Fume. *Ciencia Y Tecnologia* 9(2) : 105-115. Universidad del bio-bio. Maderas.
- Moslemi,A.A. and S.C. Pfister. 1987. The Influence of Cement/Wood Ratio and Cement Type on Bending Strength and dimensional stability of Wood-Cement Composite Panels. *Journal Wood and Fiber Science* 19:165-175.
- Papadopoulus AN. 2008. Mechanical Properties and decay Resistance of Hornbean Cement Bonded Particleboards. *Research Letters in material Science*. Hindawi Publishing Corporation. Volume 2008, article ID 379749.doi : 10.1155/2008/379749.
- Sulastiningsih, IM dan Sutigno, P. 2008. Standardisasi Mutu Kayu untuk Papan Semen. Di dalam : *Prosiding PPI Standardisasi*. Pusat Penelitian, Pendidikan dan Pengembangan Standard. 25 November 2008. Jakarta.
- Warder PEG, Savastano H, Coutts RSP. 2000. Fiber-Cemen Composites from Brazillian Agricultural and Industrial Waste Material Di dalam *Proceeding Wood-Cement Composite in the Asia-Pacific Region*. hlm. 55-61. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 10 Desember 2000. Rydges Hotel, Canberra, Australia.