

# THE INFLUENCE OF CEMENT-TO-FIBER RATIO AND TYPE OF CHEMICAL ADDITIVES ON STRENGTH PROPERTIES OF FIBER-CEMENT BOARD MADE FROM CORRUGATED PAPER WASTE

## PENGARUH RASIO SEMEN/SERAT DAN JENIS KATALIS TERHADAP KEKUATAN PAPAN SEMEN-SERAT DARI LIMBAH KERTAS KARDUS

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. Email : luthfi@usu.ac.id / luthfie\_17@yahoo.com

### ABSTRACT

Fiber cement board made from corrugated paper waste has not to develop. The main objective of this study was to evaluate the suitability of corrugated paper waste as reinforcement for cement-bonded board and the study was undertaken to: 1) determine the optimum cement-to-fiber ratio, the best type of chemical additives; 2) determine the strength properties of cement-bonded boards manufactured from the corrugated paper waste; 3) determine the effect of cement-to-fiber ratio on strength properties of cement-bonded boards from corrugated paper waste. The treatments of cement/fiber ratio were 60:40 ; 50:50 and 40:60. The chemical additives were aluminum sulfate ( $Al_2(SO_4)_3$ ), sodium silicate ( $Na_2SiO_3$ ), and calcium chloride ( $CaCl_2$ ) as an accelerator. The boards were pressed by cold press at  $25 \text{ kg/cm}^2$  for 15 minutes with density target at  $1 \text{ g/cm}^3$ . 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  $80^\circ \text{C}$  for 48 hours. Corrugated paper waste was soaked into cold water for 48 hours and continued re-pulped with disintegrator at 2 % consistency until the fiber separated. The result of the research showed that the density of boards average  $1.03 \text{ g/cm}^3$ . The effect of cement-to-fiber ratio on the strength properties showed that 60:40 is very good compared from 50:50 and 40:60. The good chemical additive is calcium chloride ( $CaCl_2$ ).

**Keywords :** corrugated paper waste, fiber-cement board, strength properties, chemical additive

### ABSTRAK

Serat papan semen yang terbuat dari limbah kardus kertas belum banyak dikembangkan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi menentukan kelayakan teknis limbah kertas kardus sebagai perkuatan papan semen dan penelitian dilakukan untuk: 1) mengetahui ratio optimum semen/serat, jenis katalis terbaik; 2) mengetahui kekuatan papan semen yang terbuat dari limbah kardus kertas; 3) mengetahui efek dari ratio semen/serat pada kekuatan papan semen dari limbah kardus kertas. Nilai ratio semen/serat yang dipakai adalah 60:40, 50:50, dan 40:60. Katalis yang digunakan adalah aluminium sulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ), sodium silikat ( $Na_2SiO_3$ ), dan kalsium klorid ( $CaCl_2$ ) sebagai akselerator. Papan ditekan dengan kempa dingin pada  $25 \text{ kg/cm}^2$  selama 15 menit dengan target kepadatan  $1 \text{ g/cm}^3$ . Metode pada penelitian ini menggunakan dua tahap pengerasan. Tahap pertama proses pengerasan udara selama 48 jam dan dilanjutkan dengan pengovenan papan selama 48 jam pada suhu  $80^\circ \text{C}$ . Limbah kardus kertas direndam dalam air dingin selama 48 jam. Pemisahan serat dengan metode hydropulping (distintegrator) yaitu pulping dengan menggunakan air sebagai bahan kimia pemasak pada suhu  $60-80^\circ \text{C}$  dengan konsistensi 2 % sampai dengan serat terpisah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan papan rata-rata adalah  $1.03 \text{ g/cm}^3$ . Efek ratio semen/serat pada kekuatan menunjukkan bahwa ratio 60:40 sangat baik dibandingkan 50:50 dan 40:60. Katalis yang terbaik adalah Kalsium klorid ( $CaCl_2$ ).

**Kata-kata Kunci :** limbah kardus kertas, papan semen/serat, kekuatan propertis, katalis

### PENDAHULUAN

Teknologi konstruksi ringan dapat dibuat berdasarkan teknologi papan semen (*cementboard*) yang memanfaatkan semen sebagai perekat dalam pembuatan papan komposit. Kertas kardus (*Corrugated paper*) merupakan limbah yang mempunyai bahan dasar serat (*fiber*) dari kayu yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai bahan konstruksi ringan. *Forest Product Laboratory* (FPL) USA (1995) dalam progres penelitiannya menyatakan bahwa bahan baku serat dapat dijadikan beberapa produk antara lain kertas, papan serat, papan partikel, papan semen, dan produk-produk yang lain.

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, bata-bata dan batu kali. Serat dari limbah kertas kardus akan menggantikan peranan pasir dalam adonan material konstruksi.

Coutts (2000) menyatakan bahwa papan semen yang dibuat dengan menggunakan serat daur ulang menjadi salah satu alternatif konstruksi yang layak untuk dipertimbangkan. Sementara Fernandez *et al.* (2000) telah melakukan penelitian dengan memanfaatkan serat jerami untuk pembuatan papan semen yang kemudian disebut sebagai *fiber-cementboard*. Papan semen yang dibuat Fernandez *et al.* (2000) mempunyai sifat yang cukup baik, namun kelemahan dari penelitian ini adalah ketersediaan bahan baku yang sangat kurang untuk bisa diaplikasikan ke dalam industri. Fernandez dan Taja-On, (2000) juga melakukan 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 berat yang tinggi.

Katalis atau zat aditif yang sering digunakan dalam proses pengerasan papan semen dan berfungsi sebagai akselerator antara lain adalah  $CaCl_2$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Na_2SiO_3$ ,  $Ca(OH)_2$  dan lain-lain. Akselerator berfungsi sebagai bahan yang dapat mempercepat penguapan air dari papan semen, sehingga proses pengerasan pa-

pan menjadi lebih cepat. Kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) merupakan katalis yang cukup baik jika digunakan dalam pengerasan papan semen yang menggunakan bahan baku serbuk kayu.

Bertolak dari pemikiran diatas, penelitian pembuatan konstruksi ringan dengan memanfaatkan bahan alternatif pengganti bahan-bahan konstruksi konvensional layak untuk dilaksanakan. 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.

## BAHAN DAN METODE

Limbah kertas kardus yang sudah dipilah, untuk selanjutnya dilakukan perendaman dalam air panas dengan suhu  $70^\circ\text{C}$  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  $60-80^\circ\text{C}$  dengan konsistensi 2 % sampai dengan serat terpisah. Setelah serat terpisah sempurna secara individu, kemudian dilakukan pengeringan dengan cara menirisakan serat yang kemudian di keringkan sampai dengan kadar air 15 %.

Serat yang diperoleh akan diformulasikan dengan semen dengan perbandingan tertentu dan penambahan katalis kimia kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ), natrium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), dan aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Perbandingan serat kardus dan semen adalah 40:60, 50:50, dan 60:40 (Fernandez dan Taja-On, 2000) dan penambahan katalis 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  $30 \times 30 \times 1 \text{ cm}^3$  dengan kerapatan target  $1 \text{ g/cm}^3$  dengan proses kempa dingin (*cold press*) selama 15 menit pada tekanan  $25 \text{ kg/cm}^2$ . 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  $80^\circ\text{C}$ .

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  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . Nilai kerapatan papan semen dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{B}{V} \quad (1)$$

Keterangan :

- $\rho$  = kerapatan ( $\text{g/cm}^3$ )
- $B$  = berat contoh uji kering udara (g)
- $V$  = volume contoh uji kering udara ( $\text{cm}^3$ )

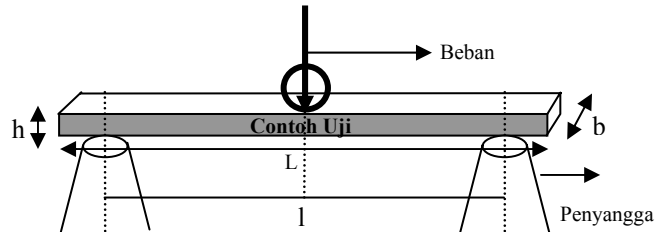
Pengujian sifat kekuatan papan semen ini meliputi modulus patah (*modulus of rupture / MOR*), modulus lentur (*modulus of elasticity / MOE*), kuat rekat internal (*internal bond / IB*) dan kuat pegang skrup (*screw holding power/ SHP*). Pengujian MOR dan MOE berdasarkan standar JIS A 5414-1993. Contoh uji berukuran  $20 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ , diuji dengan menggunakan alat *universal testing machine* (UTM) merk instron (Gambar 1). Nilai MOR dan MOE papan semen dihitung berdasarkan rumus:

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2)$$

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4bh^3\Delta Y} \quad (3)$$

Keterangan :

- $MOR$  = *modulus of rupture* ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $P$  = beban maksimum (kg)
- $L$  = jarak sangga (cm)
- $b$  = lebar contoh uji (cm)
- $h$  = tebal contoh uji (cm)
- $MOE$  = *modulus of elasticity* ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\Delta P$  = beban sebelum proporsi (kg)
- $\Delta Y$  = lenturan pada beban sebelum batas proporsi (cm)



Gambar 1. Cara pembebanan pengujian MOR dan MOE

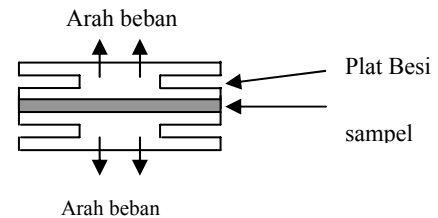
Keteguhan rekat internal (*internal bond*) diperoleh dengan cara merekatkan kedua permukaan contoh uji pada balok besi kemudian balok besi tersebut ditarik secara berlawanan sampai pada beban maksimum. Contoh uji berukuran  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . Keteguhan rekat papan semen dihitung berdasarkan rumus:

$$IB = \frac{P \max}{A} \quad (4)$$

Keterangan :

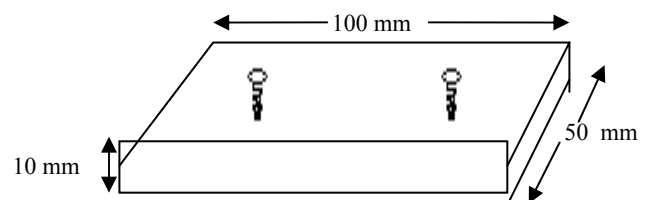
- $IB$  = *internal bond* ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $Pmax$  = gaya maksimum yang bekerja (kg)
- $A$  = luas permukaan contoh uji ( $\text{cm}^2$ )

Cara pengujian *internal bond* disajikan pada Gambar 2.



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

Pengujian kuat pegang skrup (*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  $10 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . Nilai kuat pegang skrup dinyatakan oleh besarnya beban maksimum yang dicapai untuk mencabut skrup yang dinyatakan dalam kilogram (kg).



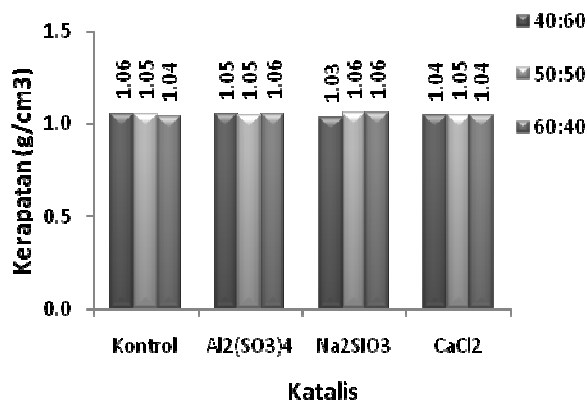
Gambar 3. Posisi skrup pada pengujian kuat pegang skrup

Analisis statistik digunakan 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  $1,03 \text{ g/cm}^3$ - $1,06 \text{ g/cm}^3$  (Gambar 4). Hal ini berarti bahwa FCB yang dihasilkan sudah mendekati target yang diinginkan yaitu  $1 \text{ g/cm}^3$ . Kerapatan FCB biasanya dibuat pada kisaran kerapatan  $0,8 \text{ g/cm}^3 \sim 1,4 \text{ g/cm}^3$  (Eroglu *et al.*, 2007; Warder, 2000).



Gambar 4. Grafik Kerapatan FCB

Fernandez *et al.* (2000) tidak menargetkan kerapatan dalam penelitiannya 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 target kerapatan.

Tabel 1. Anova hasil pengujian kerapatan

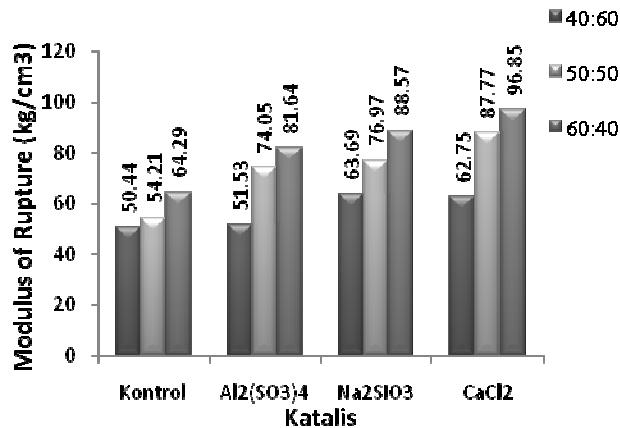
SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	0,0009	0,0003	0,15	0,927 <sup>m</sup>
Rasio	2	0,0001	0,0000	0,01	0,986 <sup>m</sup>
Interaksi	6	0,0199	0,0033	1,75	0,152 <sup>m</sup>
Error	24	0,0455	0,0019		
Total	35	0,0664			

Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, dan <sup>m</sup> = 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  $1 \text{ g/cm}^3$ . Kerapatan ini sudah cukup baik dan cukup ringan jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mendapatkan kerapatan papan semen mencapai  $1,72 \text{ g/cm}^3$  (Fernandez *et al.* 2000). 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 CaCl<sub>2</sub> dengan perbandingan semen:serat 60:40 yaitu sebesar  $96,85 \text{ kg/cm}^3$ . Nilai terendah adalah perlakuan tanpa katalis (tanpa katalis) dengan perbandingan semen : fiber 40:60 sebesar  $50,44 \text{ kg/cm}^3$  (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 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dan CaCl<sub>2</sub> juga berbeda nyata. Rasio semen : fiber 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 Papadopoulos (2008) yang menggunakan partikel kayu sebagai bahan baku papan komposit. Hal ini bisa dijelaskan bahwa penggunaan serat (*fiber*) dapat meningkatkan luas permukaan bahan baku dibanding dengan partikel karena sifat morfologi bahan baku yang berbeda.

Tabel 2. Anova hasil pengujian MOR

SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	3419,67	1139,89	165,98	0,000 <sup>**</sup>
Rasio	2	4060,11	2030,06	295,6	0,000 <sup>**</sup>
Interaksi	6	520,2	86,7	12,62	0,000 <sup>**</sup>
Error	24	164,82	6,87		
Total	35	8164,8			

Keterangan : SK = sumber keragaman, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, JKT = jumlah kuadrat tengah, F = F-hitung, P = probability, dan <sup>\*\*</sup> = nyata.

Penggunaan CaCl<sub>2</sub> merupakan akselerator yang sangat 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), CaCl<sub>2</sub> 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 : fiber terjadi perbedaan yang signifikan pada perlakuan  $\text{CaCl}_2$  (60:40) dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (60:40) terhadap seluruh perlakuan (Tabel 3). Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa akselerator terbaik adalah  $\text{CaCl}_2$ , diikuti  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Perlakuan yang tidak menunjukkan perbedaan adalah perlakuan  $\text{CaCl}_2$  (50:50) dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (60:40),  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (50:50) dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (50:50),  $\text{CaCl}_2$  (40:60) ;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (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 3 menunjukkan bahwa  $\text{CaCl}_2$  (60:40) merupakan perlakuan dengan hasil yang sangat baik.

Tabel 3. Hasil uji lanjut duncan pada MOR

Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan
a) Akselerator	
- Tanpa katalis (kontrol)	56,31 / d
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	69,07 / c
- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	76,41 / b
- $\text{CaCl}_2$	82,45 / a
b) Perbandingan 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
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ vs 40 : 60	51,53 / f
	50 : 50 74,05 / d
	60 : 40 81,64 / c
- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ vs 40 : 60	63,69 / e
	50 : 50 76,97 / d
	60 : 40 88,57 / b
- $\text{CaCl}_2$ vs 40 : 60	62,75 / e
	50 : 50 87,77 / c
	60 : 40 96,85 / a

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

Terjadinya interaksi antara akselerator dan perbandingan semen:serat bisa dijelaskan bahwa semakin besar presentase semen dan penggunaan  $\text{CaCl}_2$  maka semakin tinggi nilai ketahanan patah papan. Penggunaan  $\text{CaCl}_2$  dalam pengerasan papan semen dengan bahan baku serat lebih cepat jika presentase semen lebih banyak dibanding dengan presentase fiber. Hal ini bisa dijelaskan karena reaksi yang terjadi antara semen dan akselerator akan lebih cepat daripada reaksi antara fiber dan akselerator.

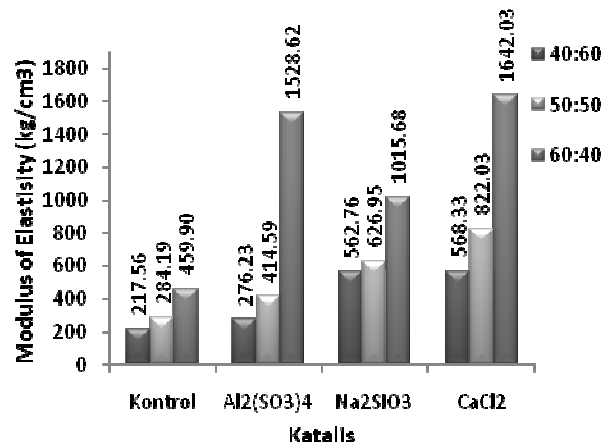
### Ketahanan Lentur (*Modulus of Elastisity* / MOE)

*Modulus of Elastisity* (MOE) merupakan sifat mekanis yang menunjukkan sifat ketahanan FCB terhadap pembebanan dalam batas proporsi sebelum terjadi patah. Nilai tertinggi adalah pada perlakuan  $\text{CaCl}_2$  (60:40) sebesar 1642,03  $\text{kg/cm}^2$  dan nilai terendah adalah perlakuan tanpa katalis (40:60) sebesar 217,56  $\text{kg/cm}^2$  (Gambar 6).

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

Nilai tanpa katalis pada akselerator sangat berbeda nyata dengan semua papan yang menggunakan akselerator. Akselerator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata dengan perlakuan akselerator  $\text{CaCl}_2$ . Rasio semen : fiber 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 terhadap elastisitas, hal ini disebabkan kepadatan semakin meningkat dan jumlah rongga berkurang sehingga meningkatkan kekuatan material.



Gambar 6. Modulus of Elastisity FCB

Tabel 4. Anova hasil pengujian MOE

SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	2190485	730162	62,56	0,000**
Rasio					
Semen:serat	2	3911051	1955526	167,56	0,000**
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.

Rasio semen : serat 60 : 40 merupakan rasio terbaik dalam menghasilkan FCB dengan nilai MOE. Hal ini bisa dijelaskan bahwa semen memegang peranan dalam sistem perekatan antar fiber, 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 di bawah 1  $\text{g/cm}^3$  mempunyai MOE yang rendah juga, sehingga penambahan katalis mutlak diperlukan untuk meningkatkan sifat-sifat kekuatannya.

Akselerator terbaik adalah  $\text{CaCl}_2$  karena lebih cepat reaksi pengerasannya dibandingkan dengan kedua akselerator lainnya. Berdasarkan penelitian Sulastiningsih dan Sutigno (2008),  $\text{CaCl}_2$  merupakan katalis yang paling baik dibanding dengan katalis-katalis lain yang biasa digunakan (Tabel 5).

Interaksi yang terjadi antara akselerator dan rasio semen : serat terjadi perbedaan pada perlakuan  $\text{CaCl}_2$  (60:40) dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (60:40) terhadap perlakuan yang lain. Perlakuan yang tidak menunjukkan perbedaan adalah perlakuan  $\text{CaCl}_2$  (50:50) dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (60:40),  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (40:60),  $\text{CaCl}_2$  (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 14 menunjukkan bahwa  $\text{CaCl}_2$  (60:40) merupakan perlakuan dengan hasil yang terbaik. Semen yang ditambah akselerator yang baik ( $\text{CaCl}_2$ ) dan keberadaan

semen yang semakin banyak dapat meningkatkan ketahanan lentur papan semen.

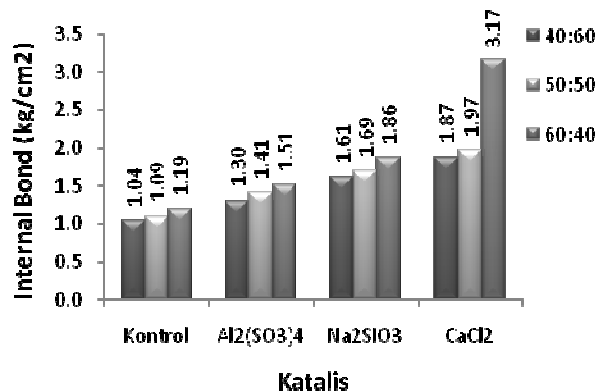
Tabel 5. Hasil uji lanjut duncan pada MOE

Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan
a) Akselerator	
- Tanpa katalis (kontrol)	320,55 /c
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	739,81 /b
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	735,13 /b
- CaCl <sub>2</sub>	1010,80 /a
b) Perbandingan 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
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) vs 40 : 60	276,23 /e
50 : 50	414,59 /de
60 : 40	1528,62 /a
- Na <sub>2</sub> SiO vs 40 : 60	562,76 /d
50 : 50	626,95 /c
60 : 40	1015,68 /b
- CaCl <sub>2</sub> vs 40 : 60	568,33 /d
50 : 50	822,03 /b
60 : 40	1642,03 /a

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

### 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 *internal bond* yang tertinggi adalah perlakuan CaCl<sub>2</sub> (60:40) yaitu sebesar 3,17 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan *internal bond* terendah adalah perlakuan tanpa katalis (40:60) yaitu sebesar 1,04 kg/cm<sup>2</sup> (Gambar 7).



Gambar 7. Kuat rekat internal FCB

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

Akselerator mempunyai peran dalam hal pengerasan papan, sehingga ikatan antar semen akan semakin baik jika pengerasannya baik. Akselerator terbaik untuk pengaruh ketahanan lentur papan semen adalah CaCl<sub>2</sub> diikuti Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, dan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Akselerator CaCl<sub>2</sub> berbeda nyata dengan kedua akselerator lainnya. Namun, akselerator Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 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 se-

men yang digunakan maka, kualitas ikatan antara semen dan serat juga akan semakin baik (Menezzi *et al.*, 2007 dan Papadopoulos, 2008; Moslemi and Pfister, 1987) Sehingga perbandingan terbaik adalah 60:40 diikuti 50:50 dan 40:60 (Tabel 7).

Tabel 6. Anova hasil pengujian kuat rekat internal

SK	DB	JK	JKT	F	P
Akselerator	3	7,4994	2,49981	137,25	0,000**
Rasio					
Semen:serat	2	1,5633	0,78164	42,92	0,000**
Interaksi	6	1,7892	0,2982	16,37	0,000**
Error	24	0,4371	0,01821		
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

Tabel 7. Hasil uji lanjut duncan pada kuat rekat internal

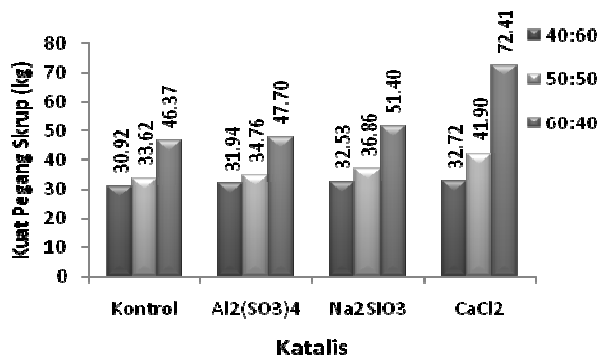
Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan
a) Akselerator	
- Tanpa katalis (kontrol)	1,11 / c
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1,41 / c
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1,72 / b
- CaCl <sub>2</sub>	2,34 / a
b) Perbandingan semen : serat	
- 40 : 60	1,45 / b
- 50 : 50	1,55 / b
- 60 : 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 <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> vs 40 : 60	1,30 / cd
50 : 50	1,41 / cd
60 : 40	1,51 / c
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> vs 40 : 60	1,61 / c
50 : 50	1,69 / bc
60 : 40	1,86 / bc
- CaCl <sub>2</sub> vs 40 : 60	1,87 / b
50 : 50	1,97 / b
60 : 40	3,17 / 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 ada yang tidak berbeda nyata seperti perlakuan tanpa katalis (40:60) dan tanpa katalis (50:50), antara Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (40:60) dan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (50:50), antara Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (50:50) dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (60:40), antara Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (60:40) dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (40:60), antara CaCl<sub>2</sub> (40:60) dan CaCl<sub>2</sub> (50:50). Akselerator CaCl<sub>2</sub> (60:40), tanpa katalis (60:40) sangat berbeda nyata dengan perlakuan manapun. Semen yang ditambah akselerator yang baik (CaCl<sub>2</sub>) dan keberadaan semen yang semakin banyak dapat meningkatkan ketahanan lentur papan semen.

### 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 CaCl<sub>2</sub> (60:40) sebesar 72,41 kg, sedangkan kekuatan terkecil pada papan dengan perlakuan tanpa katalis (40:60) sebesar 30,92 kg. (Gambar 8).



Gambar 8. Kuat Pegang Skrup fiber cement board

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

Tabel 8. Anova 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**
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 CaCl<sub>2</sub> berbeda nyata dengan kedua akselerator lainnya. Namun akselerator Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 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). CaCl<sub>2</sub> mempunyai sifat yang sangat cepat dalam pengerasan semen dibanding dengan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, sehingga kuat pegang skrup tertinggi terjadi pada akselerator CaCl<sub>2</sub> (Tabel 9).

Tabel 9. Hasil uji lanjut duncan pada kuat pegang skrup

Perlakuan	Rataan (%) / Notasi group Duncan
a) Akselerator	
- Tanpa katalis (kontrol)	31,80 / c
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	33,70 / c
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	41,71 / b
- CaCl <sub>2</sub>	57,17 / a
b) Perbandingan 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
- Tanpa katalis vs 50 : 50	33,62 / e
- Tanpa katalis vs 60 : 40	46,37 / bc
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> vs 40 : 60	31,94 / e
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> vs 50 : 50	34,76 / e
- Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> vs 60 : 40	47,70 / bc
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> vs 40 : 60	32,53 / e
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> vs 50 : 50	36,86 / de
- Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> vs 60 : 40	51,40 / b
- CaCl <sub>2</sub> vs 40 : 60	32,72 / e
- CaCl <sub>2</sub> vs 50 : 50	41,90 / cd
- CaCl <sub>2</sub> vs 60 : 40	72,41 / a

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

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.

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<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (40:60), Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (50:50), Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (40:60) dan CaCl<sub>2</sub> (40:60). Selanjutnya tanpa katalis (60:40) juga tidak berbeda nyata dengan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (60:40). Hanya Akselerator CaCl<sub>2</sub> (60:40) dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (60:40) yang sangat berbeda nyata dengan perlakuan manapun. Interaksi antara faktor akselerasi dan faktor berbandingan semen: serat menunjukkan bahwa semakin tinggi semen yang digunakan maka penggunaan akselerator juga akan mempengaruhi sifat pengerasan papan semen yang dihasilkan (Eusebio *et al*, 1998; Evans, 2000).

## KESIMPULAN

Fiber cemen composite yang dihasilkan mempunyai kerapatan yang sedang sesuai dengan target kerapatan yang diharapkan. Fiber cemen composite yang dihasilkan mempunyai sifat kekuatan yang baik dan yang tinggi, 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<sub>2</sub>) 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.

## DAFTAR PUSTAKA

- Coutts RSP. (2000). "Natural Fiber-cement Composite : An Australian Perspectives." *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." *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). "An Introduction to Wood Cemen-Composite." *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 recy-

- eled paper Mill.” *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.” *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.
- 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.” *Prosiding PPI Satandardisasi*. 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.” *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.