

## KUALITAS PAPAN SEMEN DARI SERUTAN LIMBAH INDUSTRI PENSIL DENGAN BERBAGAI KOMPOSISI BAHAN BAKU DAN KONSENTRASI $\text{CaCl}_2$

**FATMALA SALMAH.** *Performance of Cement Board made from Shaving Pencil Waste under Various Raw Material : Cement Ratio and Concentration  $\text{CaCl}_2$ . Advised by LUTHFI HAKIM and TITO SUCIPTO.*

### ABSTRACT

*This research concerning on the use of pencil shavings waste as a raw material in the manufacture of cement board. The purpose of this research was to evaluate the quality of the cement board to the physical properties and mechanical properties of the board with different ratio of raw materials: cement and various concentrations of  $\text{CaCl}_2$  as a catalyst. The board was made of pencil shavings with various ratio of raw materials (cement : shave) were : 75:25; 80:20; 85:15 and a catalyst concentration were 3 % and 5 % with a target density of 1,2 kg/cm<sup>3</sup>. Testing of physical and mechanical properties based on the standard JIS A 5417-1992 of cement particle board .*

*The results of this research indicate that the physical properties of the cement board pencil shavings particle has met the standard of JIS A 5417-1992 . As for testing the mechanical properties do not meet the standards of JIS A 5417-1992 . The best treatment is 85:15 raw material composition at a concentration of 3 % catalyst. Comparison of the composition of raw materials and catalyst concentration does not significantly affect the physical and mechanical properties of the cement board particles pencil shavings .*

*Keywords : cement board , catalysts , particle , pencil shavings ,  $\text{CaCl}_2$  .*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Papan semen partikel adalah salah satu jenis produk yang tergolong ke dalam komposit kayu, yang dibuat dari campuran partikel kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dengan semen sebagai perekatnya. Papan semen umumnya mempergunakan kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dan semen sebagai bahan utama. Bahan-bahan seperti selubur kayu (*flakes*), wol kayu (*excelsior*), pulp kayu, serutan kayu dan sejenisnya merupakan bahan-bahan yang dipergunakan sebagai bahan baku pembuatan papan semen. Namun demikian, sumberdaya kayu pada masa sekarang ini menunjukkan penurunan yang signifikan, dan dengan menghemat sumberdaya kayu diharapkan dapat melestarikan lingkungan (Kawai dkk, 1990).

Oleh karena itu, untuk menghemat sumberdaya kayu maka berkembanglah penggunaan bahan baku kayu berupa potongan-potongan kayu yang dipergunakan dalam produksi papan-papan sebagai bahan konstruksi bangunan, seperti serbuk gergajian dan potongan chip gergajian dalam proses penggergajian kayu, potongan kayu atau papan dan sejenisnya (Kawai dkk, 1990).

Salah satu jenis produk pengolahan kayu yang biasa dibuat dari partikel kayu adalah papan semen. Papan semen mempunyai sifat yang lebih baik dibanding papan partikel yaitu lebih tahan terhadap jamur, tahan air dan tahan api. Papan semen lebih tahan terhadap serangan rayap tanah dibandingkan dengan bahan baku kayunya (Sukartana dkk, 2000).

Dengan demikian papan semen merupakan salah satu bahan bangunan yang tahan lama dalam penggunaannya sehingga biaya pemeliharaan rumah yang terbuat dari papan semen akan lebih murah. Di samping itu, industri papan semen dapat memanfaatkan kayu dengan ukuran yang kecil seperti limbah industri kayu, limbah eksploitasi, kayu hasil penjarangan dan kayu diameter kecil walau dari hutan tanaman sehingga pemanfaatan kayu dapat ditingkatkan. Industri papan semen sudah lama dikenal di Indonesia, tetapi perkembangannya lambat.

Kalsium klorida merupakan bahan yang mudah menyerap air atau *hidroskopis* dibanding bahan lainnya. Sifat *hidroskopis* ini melibatkan konversi kalsium klorida menjadi air garam baik karena menyerap air atau uap air gas yang perlu untuk dikeringkan. Jika dibandingkan dengan katalis yang lain, kalsium klorida memiliki sifat mudah menguap dengan baik dalam keadaan padat maupun cair. Hal ini yang pada umumnya menjadi ciri khas dan kelebihan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ).

Pembuatan papan semen pada penelitian ini, merupakan salah satu upaya untuk menyediakan bahan bangunan selain kayu, dengan menggunakan limbah serutan pensil sebagai bahan bakunya dan semen sebagai perekatnya. Dalam penelitian ini bahan baku yang digunakan ialah limbah serutan pensil dari industri pensil. Pada saat ini limbah dari industri pembuatan pensil biasanya hanya dibakar, dibuang atau dijadikan sebagai *bedding* pada hamster. Oleh sebab itu, penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah serutan pensil sebagai bahan baku dalam pembuatan papan semen. Bahan baku yang biasa digunakan dalam pembuatan pensil adalah kayu cedar (*Cedrus libani*) yang merupakan

family dari pinus dan cemara, yang merupakan golongan kayu *softwood*. Menurut Faber Castell (2005) dalam satu batang pensil, akan menghasilkan 2% *shave*. Kapasitas produksi industri pembuatan pensil menghasilkan  $\pm 2$  milyar batang pensil per tahun. 1 buah pensil volumenya  $6,74 \times 10^{-6}$ . Maka limbah yang dihasilkan adalah 269,6 m<sup>3</sup> per tahun.

Atas dasar pemikiran tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah serutan pensil sebagai bahan baku pembuatan papan semen (*cement board*), dengan menggunakan bantuan katalis kalsium klorida. Dengan penelitian ini diharapkan pemenuhan pasokan kebutuhan kayu dapat lebih terpenuhi, dan juga limbah lebih bermanfaat.

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kualitas papan semen terhadap sifat fisis dan sifat mekanis dari limbah serutan pensil dengan berbagai rasio bahan baku dan berbagai konsentrasi katalis CaCl<sub>2</sub>.

### Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan alternatif pemanfaatan limbah serutan pensil menjadi produk yang lebih bernilai ekonomis, ramah lingkungan dan mempunyai nilai tambah serta dapat menjadi sumber informasi bagi pihak-pihak yang membutuhkannya.

### Hipotesis

Rasio semen dengan partikel (85:15) dan konsentrasi katalis (5%) akan menghasilkan papan dengan kualitas terbaik.

## METODOLOGI

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, *Workshop* Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Agustus 2014 sampai Februari 2015.

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin kempa dingin, oven, timbangan elektrik, kaliper dan *Universal Testing Machine* (UTM) merek Tensilon tipe RTF 1350. Sedangkan bahan yang digunakan adalah limbah serutan pensil, semen, katalis kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>), dan air.

### Prosedur Penelitian

#### *Pengukuran hidrasi*

Pengukuran hidrasi merupakan cara yang paling praktis untuk mengetahui kesesuaian bahan baku (kayu) yang akan dibuat menjadi papan semen.

Suhu hidrasi merupakan suhu yang terjadi akibat reaksi eksotermik antara semen dengan air. Semakin tinggi suhu hidrasi maka bahan baku tersebut semakin baik. Bahan tersebut digunakan sebagai bahan baku papan semen.

Mengacu pada penelitian Sibarani (2011) pengukuran dilakukan dengan dimasukkan gelas ukur berisikan campuran adonan partikel, semen dan air dengan perbandingan 20 g (partikel): 200 g (semen): 100 g (air). Ditambahkan katalis CaCl<sub>2</sub> 5% berdasarkan berat semen yaitu 10 g. Mengacu pada penelitian Sibarani (2011) termometer dimasukkan lewat lubang dan harus segera tutup rapat agar tidak ada panas yang keluar.

Kenaikan suhu dicatat tiap jam selama 24 jam. Dalam periode 24 jam itu suhu maksimum (suhu hidrasi) tercapai pada jam tertentu. Setelah itu suhu akan turun kembali. Suhu hidrasi hasil pengukuran dibandingkan dengan standar LPHH-Bogor yaitu kesesuaian jenis kayu sebagai bahan papan semen dikenal tiga macam mutu yaitu baik, sedang dan jelek. Pengujiannya dilakukan berdasarkan uji hidrasi, yaitu mengukur suhu maksimum yang terjadi pada saat reaksi antara semen, kayu dan air. Bila suhu maksimum lebih dari 41°C termasuk baik, 36°C–41°C termasuk sedang dan kurang dari 36°C termasuk jelek.

Suhu maksimum dipergunakan sebagai ukuran dapat atau tidaknya suatu bahan dipakai sebagai bahan baku papan semen. Bahan baku yang memenuhi standar suhu hidrasi dan terbaik yang akan digunakan sebagai bahan baku untuk penelitian ini. Adapun prosedur pengukuran hidrasi adalah disediakan tabung reaksi, gelas ukur, termometer, termos es dan minyak. Dicampur adonan yang berisikan partikel, semen, air dan katalis dengan empat macam adonan, yaitu: semen+air (2:1); semen + air + CaCl<sub>2</sub> (2:1:0,1); semen + air + CaCl<sub>2</sub> + partikel (partikel yang belum direndam) (2:1:0,2:0,1); semen + air + CaCl<sub>2</sub> + partikel (partikel yang sudah direndam dalam waktu 48 jam dengan air dingin) (2:1:0,2:0,1). Lalu dimasukkan ke dalam gelas ukur sesuai adonan. Setelah itu dimasukkan minyak ke dalam tabung reaksi. Dimasukkan tabung reaksi ke dalam gelas ukur yang sudah berisi adonan, dimasukkan gelas ukur ke dalam termos es. Dimasukkan termometer ke dalam tabung reaksi yang berisi minyak, diukur suhu hidrasi tiap jam selama 24 jam.

Jenis partikel yang akan digunakan sebagai bahan baku papan semen yaitu yang suhu hidrasinya tertinggi dan memenuhi standar yang mengacu pada standar LPPH-Bogor yaitu suhu hidrasi maksimum lebih dari 41°C termasuk baik, 36°C–41°C termasuk sedang dan kurang dari 36°C termasuk jelek.

**Persiapan Bahan Baku**

Serutan pensil yang digunakan adalah partikel halus ukuran 10 mesh. Partikel dikeringkan hingga kering udara dengan kadar air mencapai ±7 %.

**Pengadonan**

Papan semen dibuat berukuran 25 cm x 25 cm x 1 cm dengan kerapatan 1,2 gr/cm<sup>3</sup>. Pembuatan papan semen ini dilakukan menggunakan sistem pengempaan dingin dengan tekanan rata-rata yang digunakan ±25-30 kg/cm<sup>2</sup> selama 15 menit. Papan semen dibuat dengan variasi rasiopartikel : semen adalah 25:75; 20:80; 15:85 dengan penambahan 3% dan 5% kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>) dari berat semen untuk mempercepat proses pengeringan papan semen dan air sebanyak 30 % dari jumlah partikel ditambah semen.

Kebutuhan bahan baku :

$$\frac{100}{100} \times 25 \times 25 \times 1,2 = 750 \text{ gram}$$

Jumlah air yang digunakan :

$$\frac{30}{100} \times 750 = 225 \text{ gram}$$

Perhitungan proporsi bahan baku dapat dilihat pada Tabel 3 untuk pembuatan papan konsentrasi katalis 3% dan Tabel 2 untuk pembuatan papan konsentrasi 5%.

Tabel 3. Proporsi bahan baku pembuatan papan konsentrasi katalis 3 %

Bahan Baku (gram)	Rasio Semen : Partikel		
	75 : 25	80 : 20	85 : 15
Semen	562,5	600	637,5
Partikel	187,5	150	112,5
Katalis 3 %	16,87	18	19,13
Air	225	225	225

Tabel 4. Proporsi bahan baku pembuatan papan konsentrasi katalis 5 %

Bahan Baku (gram)	Rasio Semen : Partikel		
	75 : 25	80 : 20	85 : 15
Semen	562,50	600,00	637,50
Partikel	187,50	150,00	112,50
Katalis 5 %	28,13	30,00	31,88
Air	225,00	225,00	225,00

**Pembentukan Lembaran**

Pembentukan lembaran dilakukan dengan pengorientasian secara manual dan dilakukan pengempaan selama 15 menit dalam suhu ruang. Adonan bahan baku dimasukkan ke dalam pencetak lembaran contoh uji dengan ukuran 25 cm x 25 cm x 1 cm.

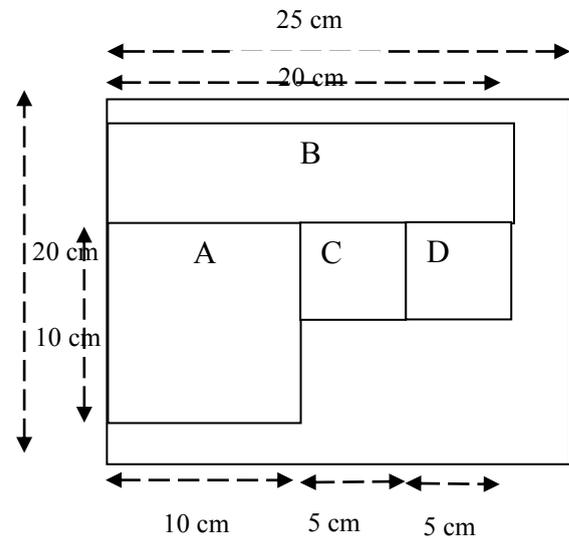
**Pengkondisian (Conditioning)**

Papan semen yang telah dibentuk menjadi

lembaran pada plat pencetak lembaran, kemudian dikondisikan selama 4-5 hari hingga papan semen kering dan bersifat kaku. Selanjutnya, papan semen tersebut dikeluarkan dari plat pencetak dan dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam pada suhu 50 °C sampai kekerasan papan semen merata. Papan semen yang telah dioven, dibiarkan selama 1-2 minggu dengan tujuan agar kadar airnya seragam dan papan semen memiliki kekerasan yang cukup tinggi. Pengkondisian dilakukan pada ruangan yang kering udara atau pada temperatur ±25°C dan kelembaban (65 ± 5)%.

**Pembuatan contoh uji**

Pola pemotongan contoh uji untuk pengujian sifat fisis dan mekanik mengacu pada standar JIS A 5417-1992 untuk papan semen, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Pola pemotongan contoh uji

Keterangan :

- A : contoh uji untuk kadar air dan kerapatan (10 cm x 10 cm x 1 cm)
- B : contoh uji untuk MOE dan MOR (20 cm x 5 cm x 1 cm)
- C : contoh uji daya serap air dan pengembangan tebal (5 cm x 5 cm x 1 cm)
- D : contoh uji keteguhan rekat internal (5 cm x 5 cm x 1 cm)

Pengujian sifat fisis dan mekanis dilaksanakan berdasarkan standar pengujian JIS A 5417-1992. Hasil pengujian tersebut dikoreksi pada masing-masing contoh uji dan dicocokkan dengan standar pengujian tersebut. Parameter kualitas papan yang diuji adalah: sifat fisis yang meliputi kerapatan, kadar air, pengembangan tebal, dan daya serap air. Sedangkan untuk sifat mekanis adalah: keteguhan rekat, modulus patah (MOR), dan

modulus elastisitas (MOE). Berikut adalah standar pengujian JIS A 5417-1992:

Tabel 5. Standar uji papan semen menurut JIS A 5414-1992

No.	Sifat papan semen	Nilai
1.	Kerapatan (densitas)	> 0,8 g/cm <sup>3</sup>
2.	Kadar air	<16 %
3.	Pengembangan tebal	<8,3 %
4.	Daya serap air	-
5.	Keteguhan lentur (MOE)	>24.000 kg/cm <sup>2</sup>
6.	Keteguhan patah (MOR)	>63 kg/cm <sup>2</sup>
7.	Keteguhan rekat internal	-
8.	Kuat pegang sekrup	-

#### Pengujian Sifat Fisis

##### Kerapatan

Kerapatan papan semen merupakan suatu ukuran yang menyatakan bobot papan semen per satuan luas. Kerapatan erat hubungannya dengan kekuatan, makin tinggi kerapatan makin tinggi pula kekuatan papan. Semakin tinggi kerapatan lembaran papan akan menyebabkan semakin luas pula kontak antar partikel dengan perekatnya, sehingga akan dihasilkan kekuatan papan yang lebih tinggi pula. Diukur panjang, lebar dan tebal sampel untuk mendapatkan volume dan ditimbang berat sampel untuk mengetahui massa sampel. Kerapatan dihitung berdasarkan berat dan volume kering udara contoh uji, dengan menggunakan rumus:

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

Keterangan:

$\rho$  = kerapatan (g/cm<sup>3</sup>)

B= berat contoh uji kering udara (g)

V= volume contoh uji kering udara (cm<sup>3</sup>)

##### Kadar Air

Papan semen mengandung air hidrat, air gel, air kapiler dan air permukaan. Air hidrat merupakan air yang terikat pada senyawa hidrat, air gel ialah air yang mengisi pori-pori semen, air kapiler merupakan air yang mengisi pori-pori kapiler yang tersebar di seluruh pasta dan air permukaan adalah air yang terdapat dipermukaan pasta semen.

Penetapan kadar air papan dilakukan dengan menghitung selisih berat awal (B<sub>0</sub>) contoh uji dengan berat setelah dikeringkan (B<sub>1</sub>) dalam oven selama 24 jam pada suhu 103±2 °C. Lalu ditimbang sampai beratnya konstan. Contoh uji berukuran 10 cm x 10 cm x 1 cm. Kadar Air papan dihitung dengan rumus:

$$KA = \frac{B_0 - B_1}{B_1} \times 100\%$$

Keterangan:

KA= kadar air (%)

B<sub>0</sub> = berat awal contoh uji (g)

B<sub>1</sub> = berat kering oven contoh uji (g)

##### Pengembangan Tebal

Air yang mengisi pori-pori semen dan pori-pori kapiler yang tersebar di seluruh papan akan berpengaruh terhadap nilai pengembangan tebal. Pengembangan tebal berhubungan erat dengan ikatan semen dengan bahan baku, semakin baik ikatannya, semakin kecil pengembangan tebalnya.

Perhitungan pengembangan tebal didasarkan pada selisih tebal sebelum dan setelah perendaman dalam air dingin selama 2 dan 24 jam. Sampel diukur tebalnya pada tiap sudut dengan menggunakan kaliper. Lalu sampel direndam dalam air selama 2 jam. Setelah 2 jam sampel diukur kembali sudut-sudutnya. Sampel kemudian direndam lagi selama 22 jam dan diukur kembali tebalnya. Contoh uji berukuran 5 cm x 5 cm x 1 cm. Pengembangan tebal dihitung dengan rumus:

$$TS = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\%$$

Keterangan:

TS= pengembangan tebal (%)

T<sub>1</sub> = tebal contoh uji sebelum perendaman (g)

T<sub>2</sub> = tebal contoh uji setelah perendaman (g)

##### Daya Serap Air

Daya serap air papan dilakukan dengan mengukur selisih berat contoh uji sebelum dan setelah perendaman dalam air dingin selama 2 dan 24 jam. Sampel ditimbang untuk mengetahui berat awalnya. Lalu direndam selama dua jam dan ditimbang kembali. Sampel direndam kembali selama 22 jam dan ditimbang beratnya. Contoh uji berukuran 5 cm x 5 cm x 1 cm. Daya serap air tersebut dihitung dengan rumus:

$$DSA = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\%$$

Keterangan:

DSA= daya serap air (%)

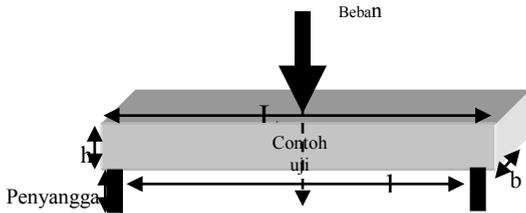
B<sub>1</sub> = berat contoh uji sebelum perendaman (g)

B<sub>2</sub> = berat contoh uji setelah perendaman (g)

##### Pengujian Sifat Mekanis

##### Modulus Patah (MOR)

Pengujian MOR dilaksanakan bersamaan dengan pengujian MOE. Contoh uji berukuran 20 cm x 5 cm x 1 cm. Skema pengujian disajikan pada Gambar 4:



Gambar 4. Cara pembebanan pengujian MOR

Keterangan :

- L = panjang contoh uji
- l = jarak sangga (15 cm)
- h = tebal contoh uji
- b = lebar contoh uji

Modulus patah (MOR) adalah sifat mekanis papan yang menunjukkan kekuatan dalam menahan beban. Untuk memperoleh nilai MOR, maka pengujian pembebanan dilakukan sampai contoh uji patah.

Rumus yang digunakan adalah:

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

Keterangan:

- MOR = modulus patah (kg/cm<sup>2</sup>)
- P = beban maksimum (kg)
- L = jarak sangga (15 cm)
- b = lebar contoh uji (cm)
- h = tebal contoh uji (cm)

#### Modulus Elastisitas (MOE)

Modulus elastisitas (MOE) menunjukkan ukuran ketahanan papan menahan beban dalam batas proporsi (sebelum patah). Sifat ini sangat penting jika papan digunakan sebagai bahan konstruksi. Rumus yang digunakan adalah:

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

Keterangan:

- MOE = modulus elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)
- $\Delta P$  = beban sebelum proporsi (kg)
- L = jarak sangga (15 cm)
- $\Delta Y$  = lenturan pada beban sebelum batas proporsi (cm)
- b = lebar contoh uji (cm)
- h = tebal contoh uji (cm)

#### Keteguhan Rekat Internal

Pengujian keteguhan rekat internal dilakukan pada panel contoh uji yang berukuran 10 cm x 5 cm x 1 cm. Pengujian keteguhan rekat internal merupakan pengujian yang dilakukan untuk menentukan ikatan internal pada papan semen (*cement board*). Pengujiannya dapat dilakukan seperti pada Gambar 6 berikut:



Sumber: woodmechanical.com  
Gambar 5. Pengujian keteguhan rekat internal

Berdasarkan Gambar 5, skema pengujian adalah beban tarikan diaplikasikan secara vertikal pada kedua bagian permukaan papan. Pengukuran beban maksimum dilakukan pada saat sampel uji mengalami kerusakan. Pada pengujian ini kecepatan beban tarikan sekitar 20 mm/menit. Sebelumnya diukur lebar dan panjang sampel untuk mendapatkan luas permukaan. Selanjutnya data-data pengukuran dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$\text{Keteguhan Rekat} = \frac{P}{bL}$$

Keterangan:

- P = beban tarikan maksimum pada saat sampel rusak (N)
- b = lebar sampel (mm)
- L = panjang sampel (mm)

#### Analisis Data

Analisis yang digunakan untuk pengujian sifat fisik dan mekanis papan semen adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial (*Factorial Completely Randomized Design*) dengan dua faktor, yaitu:

- 1) Faktor A: rasio semen : partikel (75 : 25, 80 : 20, 85 : 25)
- 2) Faktor B : konsentrasi katalis (3 % dan 5 %)

Secara matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \sum_{ijk}$$

Keterangan :

- $Y_{ijk}$  = Respon pengaruh rasio semen : partikel dan konsentrasi katalis terhadap sifat fisis dan mekanis papan semen dari limbah serutan pensil
- $\mu$  = Rataan umum
- $\alpha_i$  = Pengaruh perlakuan rasio semen : partikel terhadap sifat fisis dan sifat mekanis papan sementaraf ke-i ulangan ke-k
- $\beta_j$  = Pengaruh perlakuan konsentrasi katalis terhadap sifat fisis dan sifat mekanis papan semen taraf ke-j ulangan ke-k

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Pengaruh interaksi antara rasio semen : partikel dan konsentrasi katalis terhadap sifat fisis dan mekanis papan semen

$\sum_{ijk}$  = Galat percobaan

i = Faktor A (rasio semen : partikel)

j = Faktor B (konsentrasi katalis)

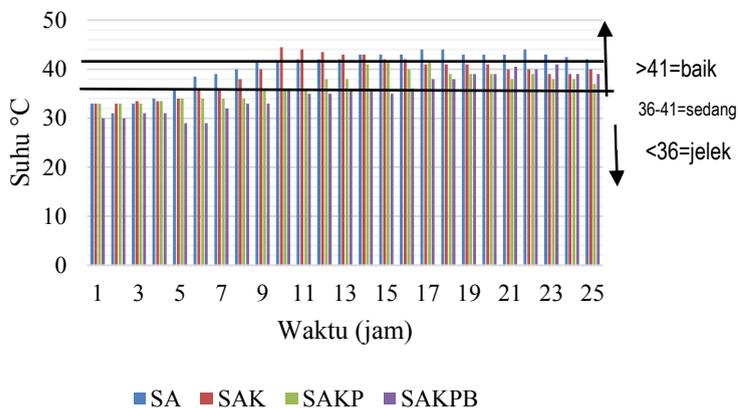
k = Ulangan (1, 2, dan 3)

Untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan-perlakuan yang dicoba maka dilakukan analisis keragaman (Anova). Jika  $F_{hitung} > F_{Tabel}$  pada tingkat kepercayaan 95%, maka rasio semen : partikel dan konsentrasi katalis berpengaruh nyata terhadap sifat fisis dan mekanis papan semen dari limbah serutan pensil yang diuji. Bila  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka selanjutnya akan dilakukan uji lanjutan menggunakan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengukuran Suhu Hidrasi

Pengukuran suhu hidrasi dilakukan untuk melihat variasi suhu hidrasi dan waktu hidrasi partikel serutan pensil jika dicampur dengan semen *portland*. Suhu hidrasi adonan semen dan partikel merupakan indikasi kesesuaian suatu material untuk dijadikan bahan baku pembuatan papan semen partikel. Jika suhu yang dihasilkan tinggi menunjukkan kadar zat ekstraktif yang terdapat dalam bahan baku rendah, berarti bahan tersebut dapat dijadikan bahan dalam pembuatan papan semen. Semakin tinggi suhu hidrasi dan semakin cepat waktu pengerasan maksimum maka jenis partikel tersebut semakin cocok digunakan sebagai pembuatan papan semen. Pengukuran suhu hidrasi dilakukan setiap jam selama 24 jam. Hubungan antara suhu hidrasi dengan waktu pengerasan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik suhu hidrasi

Keterangan :

SA : Semen + Air

SAK : Semen + Air + Katalis

SAKP : Semen + Air + Katalis + Partikel tidak Direndam

SAKPB : Semen + Air + Katalis + Partikel Direndam

Gambar 7 menunjukkan bahwa suhu hidrasi terendah adalah 30°C dan suhu tertinggi adalah 44,5°C. Suhu hidrasi tersebut menunjukkan kesesuaian bahan baku yang diperlukan dalam pembuatan papan semen. Suhu hidrasi tertinggi dan waktu yang dicapai pada setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Suhu hidrasi tertinggi dan waktu pencapaian

Perlakuan	Suhu hidrasi maksimum (°C)	Waktu mencapai suhu hidrasi maksimum (jam)
SA (Semen + Air)	44,00	16,00
SAK (Semen + Air + Katalis)	44,50	9,00
SAKP (Semen + Air + Katalis + Partikel)	41,50	14,00
SAKPB (Semen + Air + Katalis + Partikel Basah)	41,00	22,00

Tabel 6 menunjukkan bahwa perlakuan SAK memiliki suhu hidrasi lebih tinggi dengan waktu pencapaian juga lebih cepat, yaitu suhu 44,5°C pada waktu 9 jam sedangkan suhu 44°C pada waktu 16 jam pada perlakuan SA. Hal ini menunjukkan penambahan katalis mempengaruhi terhadap waktu pengerasan semen dan mempercepat pengeringan serta memperkuat daya rekat semen (Setiadi, 2006).

Suhu tertinggi perlakuan SAKP tidak jauh berbeda dengan perlakuan SAKPB, akan tetapi waktu pencapaian suhu tertinggi menunjukkan perbedaan. Perlakuan SAKP mencapai suhu 41,5°C pada waktu ke-14 jam sedangkan perlakuan SAKPB mencapai suhu 41°C pada waktu ke-22 jam. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan tanpa perendaman partikel lebih cepat meningkatkan suhu dibandingkan dengan perlakuan dengan perendaman. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Armaya (2012), partikel bambu hitam yang direndam mencapai suhu hidrasi tertinggi pada jam ke-4 dan yang tanpa perendaman pada jam ke-5. Hal ini berarti perendaman partikel mempengaruhi kecepatan papan semen untuk mengeras.

Kriteria suhu hidrasi berdasarkan standar LPHH-Bogor adalah suhu maksimum lebih dari 41°C termasuk baik, 36°C - 41°C termasuk sedang dan kurang dari 36°C termasuk jelek (Kamil,1970). Berdasarkan kriteria tersebut, serutan pensil dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan papan semen karena suhu hidrasinya mencapai 41°C. Partikel serutan pensil yang digunakan dalam

penelitian ini adalah partiel serutan pensil yang tidak direndam, karena suhunya lebih tinggi dan pencapaian waktunya lebih cepat dibandingkan dengan partikel serutan pensil yang direndam.

**Sifat Fisis dan Mekanis Papan Semen dari Limbah Serutan Pensil**

Sifat fisis dan mekanis papan semen yang terpenting adalah kadar air, kerapatan, daya serap air pengembangan tebal, keteguhan lentur, keteguhan patah dan keteguhan rekat internal. Sifat ini penting untuk dilakukan pengujian terutama untuk pemakaian struktural seperti bahan pelapisan, alas lantai atau *flooring*, dinding sisi dan bagian-bagian industri yang memerlukan kekuatan dan ketegaran (Haygreen dan Bowyer, 1989)

**Sifat Fisis Papan Semen dari Limbah Serutan Pensil**

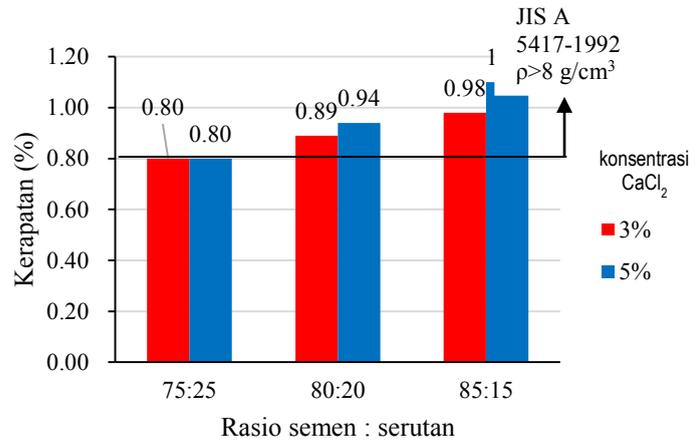
Pengujian sifat fisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian kadar air, kerapatan, daya serap air dan pengembangan tebal. Perlakuan yang diberikan adalah rasio bahan baku (75:25, 80:20, 85:15) dan konsentrasi katalis (3% dan 5%). Hasil pengujian sifat fisis papan semen disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian sifat fisis papan semen

Rasio (s : p)	KK (%)	KA (%)	K (%)	PTI (%)		DSA (%)	
				2 jam	24 jam	2 jam	24 jam
75:25	3	5,62	0,80	0,68	1,49	39,22	46,30
	5	9,25	0,80	2,01	5,96	26,74	55,77
80:20	3	6,44	0,89	0,28	1,58	27,59	33,06
	5	9,00	0,94	1,65	6,17	16,61	39,06
85:15	3	5,22	0,98	0,66	1,62	27,67	29,99
	5	7,88	1,10	2,26	7,49	29,43	36,07

**Kerapatan**

Kerapatan menunjukkan besarnya massa per satuan volume. Sifat-sifat papan yang dihasilkan sangat dipegaruhi oleh kerapatan. Selain itu kerapatan juga menjadi dasar pertimbangan penggunaan suatu produk. Hasil pengujian kerapatan papan semen dari partikel serutan pensil disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik kerapatan papan semen dari partikel serutan pensil

Kerapatan papan semen berkisar antara 0,80 g/cm<sup>3</sup>sampai 1,10 g/cm<sup>3</sup>. Gambar 9 menunjukkan bahwa rasio bahan baku 85:15 memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan rasio lainnya. Hal ini disebabkan semakin banyak semen maka semakin tinggi kerapatan papan semennya. Kerapatan yang tinggi dihasilkan dari hubungan antara partikel satu dengan lainnya yang berikatan dan berat semen lebih banyak mengisi ruang kosong yang ada sehingga meminimalisir adanya ruang atau rongga di dalam partikel (Bakri dan Sanusi, 2006). Berat papan semen semakin meningkat dengan semakin banyaknya semen sehingga kerapatan papan semen juga semakin meningkat (Paulus, 2000). Pernyataan ini juga dibuktikan oleh Fortuna (2009) yang menyatakan meningkatnya kadar semen menyebabkan ikatan antara papan partikel dengan semen dalam papan semakin erat, keadaan ini mengakibatkan kerapatan papan semakin tinggi.

Gambar 9 menunjukkan bahwa konsentrasi katalis 5% memiliki kerapatan lebih tinggi yaitu 1,10% dibandingkan dengan papan dengan konsentrasi katalis 3% yaitu 0,98%. Kerapatan papan semen partikel akan semakin meningkat dengan naiknya konsentrasi penggunaan katalis. Hal ini sesuai dengan penelitian Sidabutar (2000) yang mendapatkan hasil nilai kerapatan 1,08 g/cm<sup>3</sup> pada kadar katalis 0% dan tertinggi 1,21 g/cm<sup>3</sup> pada kadar katalis 3%. Semakin tinggi kadar katalis dalam pembuatan papan semen menyebabkan semakin tinggi pula kerapatannya.

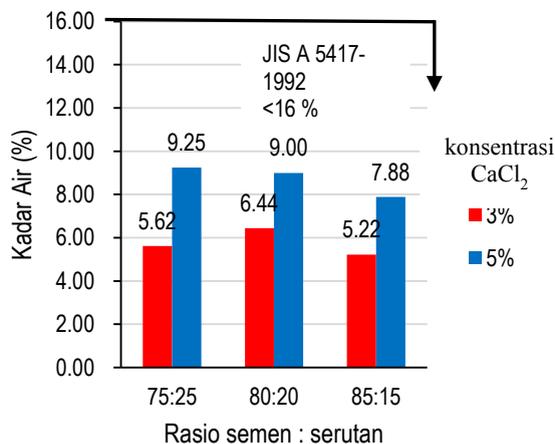
Nilai kerapatan papan semen berada dibawah target kerapatan (1,20 g/cm<sup>3</sup>). Tidak tercapainya target kerapatan ini diduga karena tekanan kempa atau klem yang diberikan pada setiap lembaran papan adalah konstan. Semakin besar tekanan kempa yang diberikan akan menghasilkan papan yang lebih tipis dengan kerapatan yang lebih tinggi juga sebaliknya. Kerapatan akhir papan semen

partikel dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis kayu (kerapatan kayu), besarnya tekanan kempa, jumlah partikel dalam lapik, kadar perekat serta bahan tambahan lainnya (Pasaribu, 1987). Hal ini juga didukung dengan pernyataan Sulastiningsih (2008) yang menyatakan bahwa hal ini terjadi karena rata-rata tebal papan semen yang dihasilkan lebih dari 1 cm sedangkan tebal yang ditargetkan adalah 1 cm, hal ini lah yang menyebabkan kerapatan papan semen tidak sesuai dengan target yang diperkirakan.

Hasil sidik ragam memperlihatkan bahwa perlakuan rasio bahan baku (faktor tunggal) memiliki pengaruh yang nyata, akan tetapi interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai kerapatan papan semen dari partikel serutan pensil. Namun kerapatan papan semen yang dihasilkan telah memenuhi standar JIS A 5417-1992 yang mensyaratkan nilai kerapatan >0,8 g/cm<sup>3</sup>.

### Kadar Air

Kadar air adalah berat air dibagi berat kering oven yang terdapat pada papan yang satuannya dinyatakan dalam persen. Hasil pengujian kadar air papan semen dari limbah serutan pensil yang dihasilkan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik kadar air papan semen dari limbah serutan pensil

Kadar air papan semen berkisar antara 5,22% - 9,25%. Nilai kadar air tertinggi dihasilkan dari papan semen dengan rasio bahan baku 75:25 dengan konsentrasi CaCl<sub>2</sub> 5% dengan nilai kadar air rata-rata 9,25%. Sedangkan nilai kadar air yang terendah adalah papan semen dengan rasio bahan baku 85:15 dengan konsentrasi CaCl<sub>2</sub> 3% dengan nilai kadar air rata-rata 5,22%.

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio semen yang digunakan oleh papan semen maka kadar air yang dihasilkan semakin

rendah. Kadar air terendah dihasilkan dari rasio bahan baku 85:15 (katalis 4%) dengan kadar air rata-rata 5,22%. Hal ini terjadi karena semakin banyak semen yang digunakan maka semakin banyak bahan partikel yang dapat diikat oleh semen. Selain itu, semen berperan secara langsung dalam meminimalisasi ruang kosong pada papan. Wahyuningsih (2011) menyatakan bahwa semakin sedikitnya ruang kosong dalam papan semen, maka kadar air yang terdapat pada papan semen semakin kecil. Proporsi semen yang lebih tinggi dapat mengisi ruang antar partikel serbuk gergaji secara rapat, sehingga serbuk gergaji tersebut sulit menyerap air, akibatnya kadar air menjadi lebih rendah (Bakri dan Sanusi, 2006).

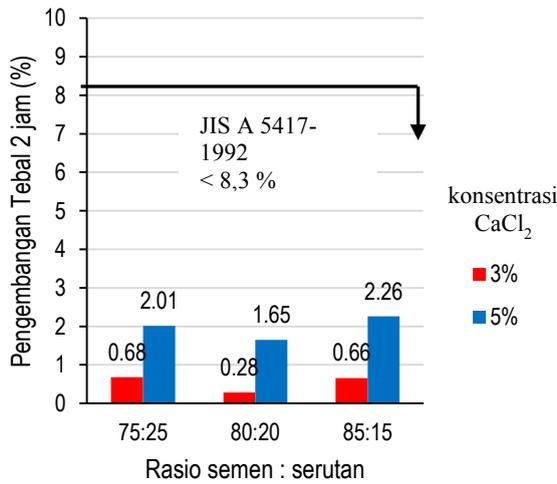
Konsentrasi katalis 3% memiliki kadar air lebih rendah daripada 5%. Yaitu 5,22% pada rasio bahan baku 85:15 dengan konsentrasi katalis 3% dan 9,25% pada rasio bahan baku 75:25 dengan konsentrasi katalis 5% (Gambar 8). Semakin meningkat konsentrasi katalis maka semakin meningkat nilai kadar air papan semen. Peningkatan ini diduga akibat partikel serutan pensil merupakan bahan yang bersifat higroskopis yaitu dapat melepas atau menyerap air dari lingkungan sekitarnya sampai kadar air mencapai keseimbangan. Pada saat pelepasan air ke udara terjadi proses pengerasan semen (*setting*). Papan semen partikel dengan menggunakan kadar katalis yang semakin tinggi akan mengakibatkan proses pengerasan semen semakin cepat sehingga air yang dilepaskan ke udara lebih sedikit dan mengakibatkan kadar air yang dikandung oleh papan semen tersebut menjadi lebih tinggi dibanding dengan papan semen dengan konsentrasi katalis lebih rendah (Sidabutar, 2000).

Hasil sidik ragam memperlihatkan bahwa perlakuan konsentrasi katalis (faktor tunggal) berpengaruh nyata terhadap kadar air papan, akan tetapi interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai kadar air papan semen. Namun kadar air papan semen yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi standar JIS A 5417-1992 yang mensyaratkan nilai kadar air <16 %.

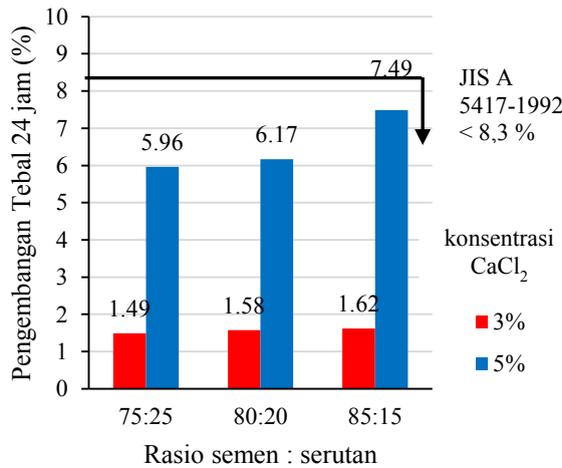
### Pengembangan Tebal

Pengembangan tebal merupakan sifat fisis yang menentukan penggunaan suatu papan semen untuk keperluan eksterior ataupun interior. Pengembangan tebal yang tinggi menunjukkan bahwa papan semen tidak dapat digunakan untuk keperluan eksterior karena stabilitas dimensi produk yang rendah dan sifat mekanisnya pun akan segera menurun secara drastis dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama. Pengujian pengembangan tebal papan semen dilakukan dengan perendaman sampel selama 2 jam dan 24 jam. Hasil pengujian

pengembangan tebal 2 jam dan 24 jam papan semendari limbah serutan pensil disajikan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Grafik pengembangan tebal papan semen dari limbah serutan pensil dengan waktu perendaman 2 jam



Gambar 11. Grafik pengembangan tebal papan semen dari limbah serutan pensil dengan waktu perendaman 24 jam

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 terlihat bahwa nilai pengembangan tebal pada konsentrasi katalis 3% pada perendaman 2 jam berkisar antara 0,28% sampai dengan 0,68%. Sedangkan pada perendaman 24 jam berkisar antara 1,49% sampai dengan 1,62%. Pengembangan tebal pada konsentrasi katalis 5% pada perendaman 2 jam berkisar antara 1,65% sampai dengan 2,26%, sedangkan perendaman 24 jam berkisar antara 5,96% sampai dengan 7,49%.

Nilai pengembangan tebal dengan perendaman 2 jam lebih rendah dibandingkan dengan nilai pengembangan tebal dengan perendaman 24 jam. Hal ini disebabkan karena

semakin lama perendaman air maka semakin banyak air yang masuk melalui pori-pori papan semen tersebut, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Armaya (2012), perendaman 24 jam lebih tinggi pengembangannya dibandingkan dengan perendaman 2 jam. Semakin lama perendaman yang dilakukan maka akan semakin banyak pula air yang masuk melalui pori-pori papan semen sehingga partikel menjadi kurang padat.

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai pengembangan tebal semakin meningkat dengan naiknya penggunaan kadar katalis CaCl<sub>2</sub>. Berdasarkan data pada Gambar 10 diketahui bahwa nilai pengembangan tebal papan semen untuk perendaman selama dua jam berkisar antara 0,28-0,66% pada kadar katalis 3% dan 1,65-2,26% pada kadar katalis 5%. Nilai pengembangan tebal terendah adalah 0,28% dengan kadar katalis 3% dan nilai pengembangan tebal tertinggi adalah 2,26% dengan kadar katalis 5%. Hal ini tidak sesuai dengan Sidabutar (2000) yang menyatakan pengembangan tebal papan semen setelah direndam dalam air selama 2 dan 24 jam akan semakin menurun dengan naiknya kadar air.

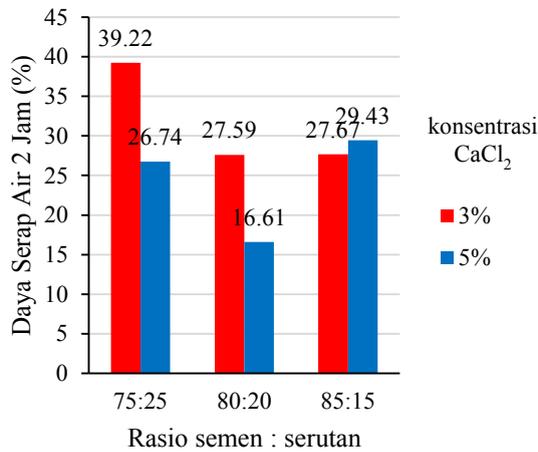
Pasaribu (1987) juga menyatakan bahwa struktur papan yang lebih padat akan menyerap air lebih sedikit daripada struktur lembaran yang kurang padat, sehingga pengembangan akan lebih rendah. Ketidaksiharian tersebut diduga karena bahan baku partikel serutan pensil yang digunakan dalam penelitian ini bersifat higroskopis dan volumenous. Seperti yang dijelaskan Koch (1985) bahwa perubahan tebal dimensi papan dipengaruhi oleh variabel-variabel pengolahan produknya sendiri seperti jenis bahan baku, kerapatan bahan baku, ketebalan partikel dan besarnya tekanan yang diberikan pada lembaran papan.

Hasil sidik ragam memperlihatkan bahwa perlakuan konsentrasi katalis (faktor tunggal) pada perendaman 2 jam memberikan pengaruh yang nyata walaupun tidak ada interaksi diantara kedua faktornya. Sama halnya dengan hasil sidik ragam perlakuan konsentrasi katalis (faktor tunggal) pada perendaman 24 jam yang memperlihatkan pengaruh yang nyata. Akan tetapi tidak ada interaksi diantara kedua faktor. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai pengembangan tebal papan semen. Namun nilai pengembangan tebal papan semen yang dihasilkan telah memenuhi standar JIS A 5417-1992 yang mensyaratkan nilai pengembangan tebal <8,3 %.

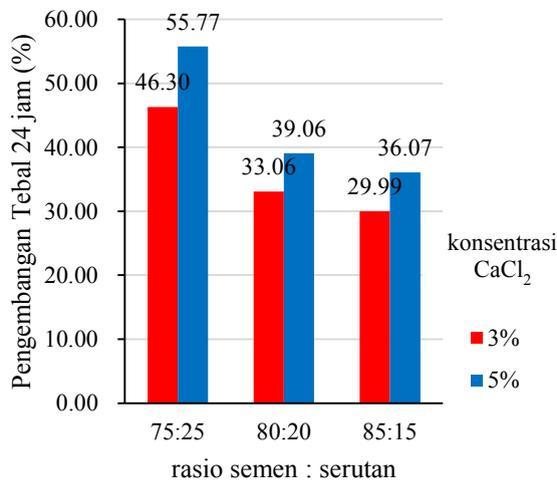
#### Daya Serap Air

Daya serap air merupakan sifat fisis papan semen yang menunjukkan kemampuan papan untuk menyerap air selama 2 jam dan 24 jam. Menurut Haygreen dan Bowyer (1989) daya serap air

merupakan banyaknya air yang terserap oleh produk terhadap massa awalnya setelah dilakukan perendaman yang satuannya dinyatakan dalam persen. Penyerapan air terjadi karena adanya gaya adsorpsi yang merupakan gaya tarik molekul air pada tempat ikatan hidrogen yang terdapat dalam selulosa, hemiselulosa dan lignin. Hasil pengujian daya serap air papan semen dari limbah serutan pensil disajikan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Grafik daya serap air papan semen dari limbah serutan pensil dengan waktu perendaman 2 jam



Gambar 13. Grafik daya serap air papan semen dari limbah serutan pensil dengan waktu perendaman 24 jam

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai daya serap air papan semen pada konsentrasi katalis 3% dengan waktu perendaman 2 jam berkisar antara 16,61 % sampai dengan 29,43% dan pada perendaman 24 jam berkisar antara 27,56% sampai dengan 39,22%. Sedangkan daya serap air papan semen pada konsentrasi katalis 5%

dengan waktu perendaman 2 jam berkisar antara 29,99% sampai dengan 46,30 dan pada perendaman 24 jam, daya serap air papan semen berkisar antara 36,07% sampai dengan 55,77%.

Daya serap air dengan waktu perendaman 2 jam lebih rendah nilainya dibandingkan dengan waktu perendaman 24 jam. Hal ini disebabkan karena lamanya perendaman papan sampel dalam air sehingga mengakibatkan banyaknya air yang masuk melalui pori-pori papan semen tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Armaya(2012) yang mengatakan bahwa lamanya perendaman air akan mengakibatkan banyaknya air yang masuk melalui pori-pori papan semen tersebut sehingga menyebabkan adanya rongga didalam papan semen yang memudahkan penyerapan air.

Rasio bahan baku 80:20 memiliki nilai daya serap lebih rendah dibandingkan dengan rasio lainnya baik dengan konsentrasi 3% maupun 5%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prayitno (2001) bahwa semakin tinggi kadar semen yang digunakan maka nilai daya serap air semakin menurun karena rasio semen yang sedikit menyebabkan sulitnya semen mengikat partikel.

Rata-rata nilai daya serap air pada konsentrasi katalis 3% lebih rendah dibanding dengan rata-rata nilai daya serap air dengan konsentrasi katalis. Hal ini disebabkan karena nilai kadar air papan semen dengan konsentrasi katalis 3% lebih rendah dibandingkan dengan 5%. Hal ini terjadi karena dengan pemakaian konsentrasi katalis yang semakin tinggi maka papan semen juga semakin cepat mengering dan mengeras. Namun hal itu menyebabkan papan semen menjadi lebih higroskopis dalam melepas dan mengikat air dari lingkungannya. Sidabutar (2000) papan semen partikel dengan menggunakan kadar katalis yang semakin tinggi akan mengakibatkan proses pengerasan semen semakin cepat sehingga air yang dilepaskan ke udara lebih sedikit dan mengakibatkan kadar air yang dikandung oleh papan semen tersebut menjadi lebih tinggi dibanding dengan papan semen dengan konsentrasi katalis lebih rendah.

Hasil sidik ragam pada perendaman 2 jam memperlihatkan bahwa perlakuan rasio bahan baku (faktor tunggal) dan konsentrasi katalis serta interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata. Sedangkan pada perendaman 24 jam menunjukkan pengaruh yang nyata pada perlakuan rasio bahan baku, sedangkan untuk interaksi kedua faktor tidak memiliki pengaruh yang nyata. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai daya serap air papan semen.

### Sifat Mekanis Papan Semen

Sifat mekanis papan semen yang dihasilkan pada penelitian ini adalah keteguhan

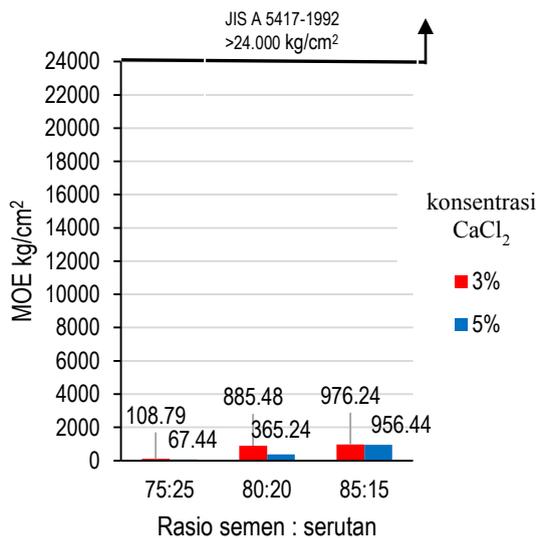
lentur (*modulus of elasticity*), dan keteguhan patah (*modulus of rupture*). Pengujian sifat mekanis ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan kemampuan papan semen yang dihasilkan untuk penggunaan struktural. Hasil pengujian sifat mekanis papan semen yang dihasilkan dapat dilihat dari Tabel 8.

Tabel 8. Sifat mekanis papan semen dari limbah serutan pensil

Rasio Bahan Baku	Konsentrasi Katalis	MOE	MOR	IB
75:25	3%	10878,50	3,87	0,04
	5%	6744,37	2,79	0,05
80:20	3%	88548,14	18,13	0,46
	5%	36524,14	9,98	1,52
85:15	3%	97624,10	21,09	1,47
	5%	95644,42	16,56	7,41

### Keteguhan Lentur (MOE)

Keteguhan lentur merupakan ukuran ketahanan papan menahan beban sebelum patah (sampai batas proporsi). Semakin tinggi nilai keteguhan lentur, maka benda tersebut semakin lentur/elastis. Hasil pengujian MOE disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik MOE papan semen dari limbah serutan pensil

Hasil pengujian MOE papan semen yang diperoleh berkisar antara 67,44 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 976,24kg/cm<sup>2</sup>. Nilai MOE tertinggi pada papan semen dengan rasio bahan baku 85:15 yaitu 976,24kg/cm<sup>2</sup>. Pada Gambar 14 terlihat kecenderungan bahwa jika semakin tinggi rasio semen dibanding partikelnya, maka semakin tinggi nilai MOE yang dihasilkan papan semen. Menurut Simbolon (2015) semakin banyak rasio semen yang digunakan maka semakin banyak partikel yang diikat

semen tersebut. Semakin tinggi kadar semen yang digunakan maka nilai MOE semakin meningkat. Dengan demikian ikatan antara partikel itu sendiri akan semakin kuat dan lebih rapat, sehingga keteguhan lentur (MOE) juga akan meningkat.

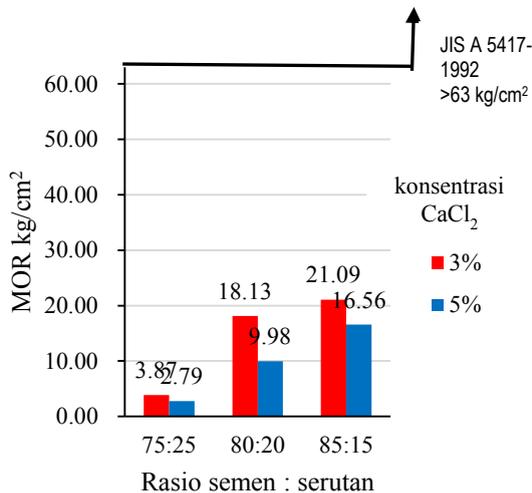
Dari data tersebut didapat bahwa nilai MOE terendah adalah 67,44kg/cm<sup>2</sup> dengan konsentrasi katalis 5% dan 108,79kg/cm<sup>2</sup> dengan konsentrasi katalis 3%. Dapat dilihat dari Gambar 14 bahwa semakin meningkat konsentrasi katalis maka nilai MOE yang didapat akan semakin menurun. Hal ini tidak sejalan dengan pernyataan Sidabutar (2000) bahwa nilai MOE papan semen partikel yang dihasilkan semakin meningkat dengan meningkatnya kadar katalis. Semakin meningkat kadar penggunaan katalis akan semakin optimal ikatan antar partikel-partikel kayu dengan semen sehingga hasil akhir yang diperoleh lebih baik. Sementara itu, Sutigno dkk., (1977) menyatakan bahwa keteguhan lentur dipengaruhi oleh kerapatan papan semen partikel yang dihasilkan, makin tinggi kerapatan yang dihasilkan maka makin tinggi pula keteguhan lenturnya. Dapat kita lihat dari hasil pengujian sifat fisis sebelumnya, kerapatan papan semen partikel serutan pensil sejalan dengan hasil nilai MOE yang dihasilkan papan semen.

Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat nilai MOE adalah kerapatan dan kadar air. Pada nilai kerapatan, semakin tinggi nilai kerapatan maka semakin tinggi juga nilai MOE pada papan semen. Nilai kerapatan penelitian ini menunjukkan nilai yang bagus walaupun belum mencapai target. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian MOE yang diperoleh. Sedangkan pada nilai kadar air, semakin tinggi nilai kadar air maka semakin rendah nilai MOE sehingga nilai MOE berbanding terbalik dengan nilai kadar air (Armaya, 2012). Hal ini sesuai dengan nilai kadar air pada penelitian ini yang memenuhi standar dan terbilang rendah.

Hasil analisis ragam memperlihatkan bahwa perlakuan rasio bahan bakumemberikan pengaruh yang nyata akan tetapi interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan MOE papan semen. Nilai MOE papan semen yang dihasilkan tidak memenuhi standar JIS A 5417-1992 yang mensyaratkan nilai MOE >24.000 kg/cm<sup>2</sup>.

### Keteguhan Patah (MOR)

MOR atau keteguhan patah adalah nilai ukuran kekuatan lentur statis kayu yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh papan partikel per satuan luas hingga papan tersebut patah. Hasil pengujian MOR disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik MOR papan semen dari limbah serutan pensil

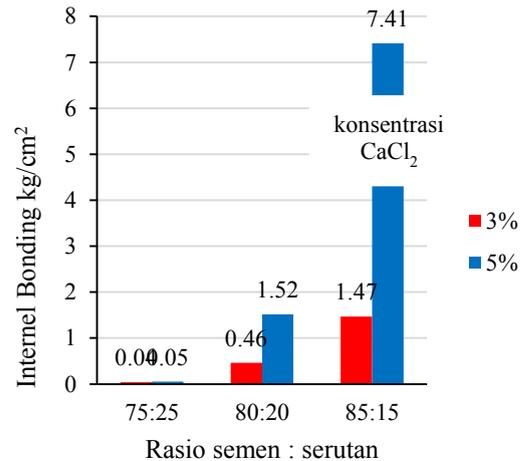
Gambar 15 terlihat bahwa rasio bahan baku 85:15 memiliki nilai MOE lebih tinggi dibandingkan dengan rasio yang lain. Karena semakin tinggi rasio semen yang digunakan maka semakin banyak partikel yang dapat diikat oleh semen tersebut. Adanya peningkatan kadar semen yang digunakan maka nilai MOR yang dihasilkan semakin meningkat (Fortuna, 2009). Hal ini disebabkan oleh ikatan adhesi antara partikel dengan semen semakin kuat. Karena kekompakan ikatan antara partikel dengan semen semakin erat sehingga nilai modulus patah meningkat dan papan semen semakin stabil.

Nilai MOR papan semen partikel semakin menurun dengan menurunnya konsentrasi katalis yang digunakan. Hal ini juga tidak senada dengan Sidabutar (2000) bahwa nilai MOR papan semen akan semakin meningkat dengan naiknya kadar penggunaan katalis hingga 5%. Dari Gambar 15 didapat bahwa nilai MOR paling tinggi adalah 21,09% dengan konsentrasi katalis 3% dan nilai MOR yang paling rendah adalah 2,79% dengan konsentrasi katalis 5%. Menurut Maloney (1977) nilai MOR dipengaruhi oleh kandungan dan jenis bahan perekat yang digunakan, daya ikan perekat dan jenis bahan baku. Koch (1985) menambahkan bahwa faktor yang mempengaruhi nilai MOR panil adalah berat jenis bahan baku, geometri partikel, orientasi partikel, kadar perekat, kadar air dan proses kempa.

Hasil sidik ragam memperlihatkan bahwa perlakuan rasio bahan baku memberikan pengaruh nyata, akan tetapi interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai MOR papan semen. Namun MOR papan semen yang dihasilkan tidak memenuhi standar JIS A 5417-1992 >63 kg/cm<sup>2</sup>.

### Keteguhan Rekat Internal (*Internal Bond*)

Hasil pengujian keteguhan rekat internal papan semen dari partikel serutan pensil disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik *internal bond* papan semen dari partikel serutan pensil

Berdasarkan Gambar 16 dapat dilihat bahwa nilai IB berkisar antara 0,04-7,41 kg/cm<sup>2</sup>. Dimana nilai IB tertinggi dihasilkan oleh papan semen dengan rasio 85:15 yaitu 7,41kg/cm<sup>2</sup> dan yang terendah adalah 0,04 kg/cm<sup>2</sup> dengan rasio bahan baku 75:15. Menurut Fortuna (2009) karena adanya peningkatan kadar semen yang digunakan maka nilai IB semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh ikatan adhesi antara partikel dengan semen semakin kuat. Karena kekompakan ikatan antara partikel dengan semen semakin erat sehingga nilai keteguhan rekat permukaan papan semen semakin stabil.

Dapat dilihat dari data tersebut, bahwa nilai keteguhan rekat internal papan semen akan semakin meningkat dengan naiknya kadar katalis yang digunakan. Hal ini sesuai dengan Sidabutar (2000) yang menyatakan hal serupa. Nilai keteguhan rekat internal hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Subiyanto dkk., (1988). Hal ini diduga akibat bentuk partikel yang digunakan dalam penelitian ini berupa serutan (*shave*) yang memiliki ukuran yang berbeda antar partikel. Perbedaan tersebut menyebabkan kontak permukaan antar partikel tidak optimal dan proses pencampuran tidak homogen. Nilai keteguhan rekat internal yang tinggi menunjukkan adanya ikatan yang baik antar partikel yang berhubungan dengan proses pencampuran, pembentukan dan pengempaannya (Haygreen dan Bowyer, 1982).

Hasil sidik ragam memperlihatkan bahwa perlakuan rasio bahan baku dan konsentrasi katalis,

serta interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata. Hal ini berarti bahwa perlakuan yang diberikan tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai IB papan semen.

### Rekapitulasi Sifat Fisis dan Sifat Mekanis

Hasil rekapitulasi sifat fisis dan mekanis papan semen dari partikel serutan pensil yang dilakukan di laboratorium dengan perlakuan rasio bahan baku 75:25; 80:20; 85:15 dan konsentrasi katalis 3% dan 5% disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi sifat fisis dan mekanis papan semen dari partikel serutan pensil

Rasio S:P	Sifat Fisis							Sifat Mekanis		
	KK	KA	K	PT		DSA		MOE	MOR	IB
				2 jam	24 jam	2 jam	24 jam			
75:25	3	5,62*	0,80*	0,68*	1,49*	39,22	46,30	108,79	3,87	0,04
	5	9,25*	0,80*	2,01*	5,96*	26,74	55,77	885,48	2,79	0,05
80:20	3	6,44*	0,89*	0,28*	1,58*	27,59	33,06	976,24	18,13	0,46
	5	9,00*	0,94*	1,65*	6,17*	16,61	39,06	67,44	9,98	1,52
85:15	3	5,22*	0,98*	0,66*	1,62*	27,67	29,99	365,24	21,09	1,47
	5	7,88*	1,10*	2,26*	7,49*	29,43	36,07	956,44	16,56	7,41
Nilai JIS A 5417-1992		<16	>0,8		<8,3%	-	-	>24.000	>63	-

Keterangan : \*memenuhi standar JIS A 5417-1992

Pada rekapitulasi nilai sifat fisis dan mekanis pada papan semen terlihat bahwa perlakuan yang paling baik yaitu rasio bahan baku 85:15 karena memiliki kadar semen yang paling tinggi sehingga mampu mengikat partikel lebih banyak dengan semen tersebut. Sedangkan untuk konsentrasi katalis yang terbaik adalah 3% karena memiliki nilai hasil sifat fisis dan mekanis lebih baik dibanding dengan konsentrasi katalis 5%. Hal ini disebabkan karena pengeringan yang dialami oleh papan semen pada perlakuan 5% lebih cepat sehingga memudahkan pula dalam pengikatan air disekitar lingkungannya.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Rasio bahan baku dan konsentrasi katalis tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air, kerapatan, pengembangan tebal, daya serap air, MOE, MOR, dan IB papan semen dari partikel serutan pensil. Perlakuan yang terbaik ialah rasio bahan baku 85:15 dan konsentrasi katalis 3%.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah perlakuan terhadap konsentrasi katalis untuk melihat perbedaan seperti yang ditemukan dari penelitian sebelumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Armaya, R. 2012. Karakteristik Fisis Dan Mekanis Papan Semen Bambu Hitam (*Gigantochloa Atroviolacea* Widjaja) Dengan Dua Ukuran Partikel. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Bakri dan Sanusi. 2006. Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Kayu Semen Serbuk Gergajian. Jurnal. Jurusan Kehutanan. Universitas Hasanuddin.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2009. Cara uji kadar selulosa dalam pulp. SNI 14-0444-2009. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Dewi, S. 2001. Sifat Fisis-Mekanis Papan Semen Partikel Bambu Ampel (*Bambusa vulgaris* Schrad) : Pengaruh Macam Larutan Perendaman dan Kadar Semen. Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Direktorat Jenderal Bea dan Cukai. 2009. Kajian terhadap semen sebagai calon barang kena cukai dalam rangka ekstensifikasi obyek BKC. Departemen Keuangan Republik Indonesia. Jakarta.
- Faber Castell. 2005. Sejarah Faber Castell. <http://www.faber-castell.co.id/55881/Faber-Castell/Sejarah-Faber-Castell-di-Indonesia/default.aspx>. [30Oktober 2014].
- Fortuna, R. 2009. Kualitas papan semen dari sekam padi (*Oryza sativa* Linn). Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Hakim, L. dan T. Sucipto. 2009. Pengaruh Rasio Semen/Seat dan Jenis Katalis Terhadap Kekuatan Papan Semen-Serat dari Limbah Kertas Kardus. Jurnal. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Handayani, S.A. 2003. Sifat-Sifat Semen Partikel Dari Campuran Kayu Jenis Meranti Merah (*Shorea spp.*) dan Kakao (*Theobroma cacao*). Skripsi. Universitas Mulawarman. Kalimantan Timur.
- Haygreen, J.G and J.L. Bowyer. 1989. Forest Product and Wood Science; An Introduction the Iowa State University Ames.

- [JIS] Japanese Industrial Standards. 1993. JIS A 5417-1992. Cements boards. Japan.
- Kamil, N. 1970. Prospek pendirian industri papan wol kayu di Indonesia. Pengumuman No. 95. Lembaga – lembaga Penelitian Kehutanan, Bogor.
- Kawai, Hidenori, Nekota and Takeshi. 1990. Wood cement board and a manufacturing method thereof. USA.
- Koch, P. 1985. Utilization of Hardwood Growing on Southern Pine Sites. U.S Dep. Agric. Serv Handbook 603. 371 Op. 3 vol. US Gort. Print. Off. Washington DC.
- Kumoro, C. 2008. Papan semen partikel. Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Maail, R.S., D. Hermawan, Y. S. Hadi. 2006. Papan Semen-Gypsum Dari Core-Kenaf Menggunakan Teknologi Pengerasan Autoclave. Universitas Pattimura. Ambon.
- Maloney, T.M. 1977. Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing. Miller Freeman Publication San Fransisco. California.
- Maskar. 2010. Sifat papan semen. <http://hutanku.blogspot.com.html>. [15 April 2009].
- 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*. Wood and Fiber Science 19 :165-175.
- Mujtahid. 2010. Pengaruh Ukuran Serbuk Aren Terhadap Kekuatan *Bending*, Densitas Dan Hambatan Panas Komposit Semen-Serbuk Aren (*Arenga Pinnata*). Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Pasaribu, R.A. 1987. Pengaruh Campuran Pulp dan Semen Terhadap Sifat-Sifat Papan Semen Pulp dari Tiga Jenis Kayu. Thesis Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Paulus, 2000. Pengaruh Rasio Bahan Partikel Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muel Arg) Dengan Ijuk Aren (*Arenga pinata*) dan Campuran Perekat Semen Terhadap Sifat Fisik dan Mekanis Papan Semen Partikel. Skripsi Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Petra Christian University Library. 2003. Jurnal Klinker–Chapter 2. Petra Christian University. Surabaya.
- Prayitno, M, 1995. Pengaruh Waktu Perendaman Panas dan Kadar Air Partikel Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen Partikel *Acacia mangium* Wild. Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Sagel, R., Kole, P., dan Kusuma, G.. 1994. Pedoman Pengerjaan Beton, SariBeton Jilid II. Erlangga. Jakarta.
- Setiadhi H. 2006. Pembuatan Papan Semen dari Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.). Skripsi. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor
- Sibarani, I. P. 2011. Karakteristik papan semen dari tiga jenis bambu dengan penambahan katalis magnesium klorida (CaCl<sub>2</sub>). Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sidabutar, P. 2000. Pengaruh Macam dan Kadar Katalis Terhadap Sifat Papan Semen Partikel *Acacia mangium* Wild. Skripsi Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Sidabutar, P. 2000. Pengaruh Macam Dan Kadar Katalis Terhadap Sifat Papan Semen Partikel. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Simbolon, I.L. 2015. Pengaruh Ukuran Partikel dan Rasio Semen-Partikel terhadap Kualitas Papan Semen dari Cangkang Kemiri. Skripsi Fakultas Kehutanan Universitas Sumatera Utara.
- Subiyanto, B. Susetyowati, A.F.E. 1998. Production Technology of Cement Bonded Particleboard From Tropical Fast Growing Species I. The Effect of Cement Content After Pre-Treatment of Particle on Cement Bonded Particleboard Properties. The Fourth Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. November 2-5. Bogor. Indonesia.
- Sukartana, P., R. Rushelia & I.M. Sulastiningsih. 2000. Resistance of wood-and bamboo-cement boards to subterranean termite *Coptotermes gestroi* Wasmann. (Isoptera: Rhinotermitidae). Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region.

ACIAR Proceedings No. 107: 62-65.  
Canberra.

Sulastiningsih, I.M. dan P.Sutigno. 2008.  
Standardisasi mutu kayu untuk bahan  
papan semen. Pusat Penelitian dan  
pengembangan Hasil Hutan. Bogor.

Sutigno, P., S. Kliwon dan S. Karnasudirdja. 1977.

Sifat Papan Semen Lima Jenis Kayu.  
Lembaga Penelitian Hasil Hutan. Bogor.  
Laporan No. 96. Hal: 2-6.

Wahyuningsih, N. S. 2011. Pengaruh Perendaman  
dan Geometri Partikel terhadap Kualitas  
Papan Partikel Sekam Padi. Institut  
Pertanian Bogor. Bogor.