

# PREDIKSI DAMPAK SUBSTITUSI KERTAS LAINER OLEH KERTAS MEDIUM PADA KARTON GELOMBANG MENGGUNAKAN PERSAMAAN EMPIRIS

Sonny Kurnia Wirawan\*, Jenni Rismajana dan Taufan Hidayat

Taufan Hidayat\*, Rina Masriani, Dadang Setiawan Asid

\*Peneliti Pada Balai Besar Pulp dan Kertas – Bandung

## APPLICATION OF $\alpha$ -AMYLASE AND CELLULASE ON THE DEINKING OF PREDICTION OF SUBSTITUTION IMPACT OF KRAFT LINDER BY CORRUGATING MEDIUM IN CORRUGATED BOARD BY USING EMPIRICAL FORMULA

**ABSTRACT** *Deinking is one of the alternative advantages if compared with conventional Corrugated board is made from kraft liner and corrugating medium. The growth of box market indicates that there are the increasing demand of corrugated board with reasonable price. Converters then change the kraft liner by corrugating medium to produce cheaper corrugated board. This substitution will influence the quality of corrugated board due to the lower quality of corrugating medium. This paper tries to predict the properties of corrugated board from the properties of the components, when the replacing happen.*

*The prediction based on the propagation properties from kraft liner and corrugating medium to corrugated board. A certain amounts of kraft liner and corrugating medium coming from Indonesian paper mills were sampled and tested. The results are used to make a simulation of corrugated board compositions. The prediction of corrugated board performances are approached by box compression strength, calculated by McKee formula, and the containability, predicted by bursting strength. The box compression strength and bursting strength between the general corrugated board and substituted corrugated board are then compared. The lowest of performance decreasing of corrugated board achieved at corrugated board 250 g/m<sup>2</sup>.*

*Keywords: kraft liner, corrugating medium, corrugated board, box compression strength, bursting strength*

**INTISARI** *milase dengan variasi penggunaan 0,25%-0,5%, yang akan bertindak sebagai pengelentasi terhadap lapisan pati yang terdapat pada bahan pendarat permukaan. Dan selulase dengan variasi penggunaan 0,5%-2% yang bertindak sebagai pemutus serasir yang terkena tinta.*

*Karton gelombang adalah karton yang dibentuk oleh kertas liner sebagai penyekat dan pelapis dan kertas medium sebagai komponen gelombangnya. Perkembangan pasar menunjukkan adanya kebutuhan yang tinggi terhadap karton gelombang dengan harga murah. Oleh karena itu para konverter mengganti komponen lainernya dengan kertas medium. Penggantian ini tentu akan berdampak pada kualitas karton gelombang, mengingat mutu kertas medium dibawah mutu kertas liner. Tulisan ini mencoba memprediksi kinerja kotak karton gelombang jika substitusi dilakukan.*

*Prediksi dilakukan berdasarkan propagasi karakteristik kertas liner dan medium terhadap karton gelombang. Untuk itu dilakukan pengujian sejumlah kertas liner dan medium dari berbagai sumber, yang mewakili hampir seluruh produk kertas liner medium yang beredar di Indonesia. Dari hasil uji tersebut kemudian dilakukan simulasi variasi berbagai pasangan kertas liner dan kertas medium, kemudian dihitung nilai BCT prediksinya dengan persamaan McKee dan membandingkannya dengan nilai BCT KKG jika kertas liner disubstitusi oleh kertas medium. Hal yang sama dilakukan untuk sifat ketahanan retak karton gelombang. Hasil prediksi menunjukkan bahwa penurunan kinerja terendah terjadi pada karton gelombang 250 g/m<sup>2</sup>.*

*Kata kunci: Kertas liner, kertas medium, karton gelombang, kotak karton gelombang, box compression test (BCT), ketahanan retak*

*terhadap 1 ton Kertas bekas 100%. Hal ini setara dengan 7000 galon air. Selain itu dengan pendaur ulangan kertas bekas ini dapat menghematkan 17 batang pohon dan menghemat 3,3 yard kubik limbah rumah tangga. Untuk konservasi air dan energi.*



## PENDAHULUAN

Kertas kemas merupakan komoditas penting dalam perekonomian masyarakat, dan tingkat konsumsinya mencapai 40 % dari keseluruhan konsumsi kertas dunia. Salah satu jenis kertas yang tergolong kertas kemas adalah karton gelombang (KG) yang merupakan bahan baku untuk pembuatan kotak karton gelombang (KKG). Untuk dapat berfungsi dengan baik sebagai pengemas, KKG dipersyaratkan memiliki sifat-sifat tertentu, yang dapat diprediksi dari sifat bahan bakunya yaitu KG; sedangkan sifat-sifat KG diperoleh dari sifat-sifat komponen kertas liner dan medium yang menyusunnya.

Biaya produksi KG 70% berasal dari biaya bahan bakunya yaitu kertas. Perkembangan kebutuhan konsumen terhadap KKG menunjukkan bahwa ada banyak kebutuhan terhadap KKG yang bermutu sedang. Untuk mendapatkan nilai ekonomis terhadap pemenuhan kebutuhan tersebut, maka pada saat ini banyak diproduksi KG yang seluruhnya terbuat dari kertas medium. Hal ini menyimpang dari kebiasaan karena pada umumnya KG merupakan kombinasi antara kertas liner dan medium.

Dengan penggantian komponen KG tersebut, tentu akan menimbulkan beberapa masalah, khususnya yang berkaitan dengan kualitas KG. Pengaruh substitusi kertas liner oleh kertas medium terhadap mutu karton gelombang diteliti dengan cara pendekatan propagasi karakteristik kertas liner dan medium terhadap karton gelombang. Untuk itu dilakukan pengambilan sampel sejumlah kertas liner dan medium dari berbagai sumber, yang mewakili hampir seluruh produk kertas liner dan medium yang beredar di Indonesia.

Pada sampel-sampel tersebut dilakukan pengujian karakteristik kertas liner dan medium yaitu ketahanan tekan lingkaran atau *ring crush test* (RCT), tebal (*thickness*), *tensile stiffness*, dan ketahanan retak kemudian dilakukan pendekatan empiris matematis untuk mengetahui karakteristik karton gelombang yang dibuat dari kertas liner dan medium yang ditinjau.

Pada penelitian ini karton gelombang yang dipelajari dibatasi hanya karton gelombang jenis dinding tunggal dengan *flute C* dan kotak karton gelombang jenis *regular slotted container* (RSC).

## TINJAUAN PUSTAKA

Kotak karton gelombang (KKG) atau kotak kemasan adalah alat kemas berbentuk kotak yang dibuat dari karton gelombang. KKG dapat berfungsi sebagai alat pembungkus atau alat pelindung. Jika produknya berupa *self supporting product* seperti botol gelas dan kaleng maka KKG berfungsi sebagai alat pembungkus. Jika produknya bukan berupa *self supporting product* seperti mie instan atau makanan ringan maka KKG digunakan sebagai alat pelindung sehingga KKG harus cukup kuat. Menurut *International Code for fibreboard Cases* dalam [3] ada 90 jenis KKG, yang umum adalah *slotted type boxes*, *telescope type boxes*, dan *folder type boxes*. KKG yang sering digunakan adalah KKG tipe A (*slotted type*), subtype A1 (*Regular Slotted Container* atau RSC) atau menurut Markstörn (2005) disebut sebagai *Regular Slotted Box* atau RSB.

Menurut Östlund [8], pemilihan KKG sebagai alat pelindung ditentukan oleh sifat ketahanan tekan kotak atau *box compression strength, strength and toughness, serta stiffness*. Ketahanan tekan kotak diukur dengan uji tekan kotak atau BCT (*Box Compression Test*), yaitu besarnya beban yang diperlukan untuk menekan KKG sehingga berubah bentuk (*collapse*), diukur pada kondisi standar. Menurut Markstörn (2005), nilai BCT merupakan sifat yang sangat penting untuk menggambarkan penampilan KKG selama pembebanan dan pengiriman. Sifat ini dipengaruhi oleh ketahanan tekan KKG (*compression strength*). Ketahanan tekan KKG dipengaruhi oleh sifat-sifat kertas liner dan kertas medium pembentuk KKG.

Karton gelombang adalah karton yang dibuat dari satu atau beberapa lapisan kertas medium bergelombang (*fluting medium* atau *fluting*) dengan kertas liner sebagai penyekat dan pelapisnya. Kualitas karton gelombang ditentukan oleh jumlah gramatur kertas pelapis (G), ketahanan retak atau *bursting strength* (BS), dan ketahanan tekan tepi atau *edge crush resistance* (ECT). Karton gelombang jenis dinding tunggal biasanya dinyatakan dalam formasi K/M/K atau *kraft liner/medium/kraft liner* yang artinya karton gelombang tersebut terdiri dari dua kertas pelapis yang terbuat dari *kraft liner* dan *fluting*-nya adalah kertas medium. Sifat-sifat karton gelombang dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan bakunya yaitu kertas liner dan kertas medium.



Sifat KKG sebagai alat pelindung ditentukan oleh sifat ketahanan tekan kotak, dan sifat ketahanan tekan kotak KKG ditentukan oleh sifat ketahanan tekan tepi dan *bending stiffness* karton gelombang. Sifat ketahanan tekan tepi karton gelombang ditentukan oleh sifat ketahanan tekan kertas lainer (kertas pelapis) dan *fluting medium*.

### Ketahanan tekan kotak atau *box compression strength* (BCT)

Menurut Markstöröm (2005), hubungan antara sifat-sifat kertas lainer dan kertas medium dengan KG dan KKG telah dipelajari oleh McKee pada awal tahun 1960-an. Berdasarkan persamaan McKee, BCT KKG dari KKG jenis *Regular Slotted Box* (RSB) dapat diprediksi dari: ECT KG, *Bending Stiffness* KG pada arah mesin ( $S_{B,AM}$ ) dan silang mesin ( $S_{B,SM}$ ), dan periferi dari kotak, Z. Secara umum, persamaan McKee adalah:

$$BCT = k_1 \times (ECT)^x \times (S_B^b)^{1-x} \times Z^{2x-1}$$

Untuk KKG, persamaan tersebut dapat diadaptasi menjadi:

$$BCT = k_1 \times (ECT)^{0,75} \times (S_B^b)^{0,25} \times Z^{0,5}$$

$S_B^b$  adalah rata-rata geometrik dari *stiffness* yaitu

$$S_B^b = \sqrt{S_{B,AM}^b \times S_{B,SM}^b}$$

Selain itu *bending stiffness* KKG dapat diprediksi dari *tensile stiffness* kertas pelapis.

$$S_B^b = 0,5 \times S_T^b \times T^2$$

$S_T^b$  adalah *tensile stiffness* dari kertas pelapis

T adalah tebal dari KKG

Versi sederhana dari persamaan ini, *bending stiffness* diganti oleh tebal KG (T), sehingga menjadi:

$$BCT = k_2 \times ECT^b \times T^{0,5} \times Z^{0,5}$$

Dasar teorinya adalah *bending stiffness* dari KG dipengaruhi oleh jarak dari pusat *bending*

*netral* lainer ke pusat permukaan lainer yang lain, atau tebal dari KG.

Menurut Östlund [9], persamaan McKee model III adalah

$$P = 3,75 F_c^{0,75} \left( \sqrt{S_{MD}^b S_{CD}^b} \right)^{0,25} Z^{0,5}$$

P atau BCT KKG dipengaruhi oleh ketahanan tekan tepi (ECT) yang disimbolkan sebagai  $F_c$  dan *bending stiffness* (S).

Menurut Markstöröm (2005), hubungan antara ECT dan ketahanan tekan kertas lainer dan *fluting medium* dirumuskan:

$$ECT = k \left( \sigma_{C,L1}^b + \sigma_{C,L2}^b + \alpha \sigma_{C,f}^b \right)$$

$\sigma_C^b$  adalah *compression strength*

L1 adalah *liner 1* atau kertas pelapis 1

L2 adalah *liner 2* atau kertas pelapis 2

f adalah *fluting medium*

$\alpha$  adalah *take-up factor* dari *fluting medium*

k adalah konstanta

Nilai k tergantung pada metode pengukuran *compression strength*. Jika pengukuran *compression strength* menggunakan metode: RCT (*ring crush test*), nilai k adalah  $1,28 \pm 0,08$ . Jika menggunakan metode CCT (*Corrugated Crush Test* atau *Concora Corrugated Test method*), nilai k adalah  $0,97 \pm 0,04$  dan jika metode SCT (*Short Span Compressive Test*), nilai k adalah  $0,71 \pm 0,03$ .

Jadi secara keseluruhan, faktor yang mempengaruhi nilai BCT adalah:

1. RCT kertas pelapis
2. RCT *fluting medium*
3. *Tensile stiffness* kertas pelapis
4. Tebal kertas pelapis
5. Tinggi *fluting medium* (ditentukan oleh jenis flute)

Menurut Östlund [8] nilai *take up factor* untuk karton gelombang jenis flute C adalah 1,43.

### Ketahanan retak

Ketahanan retak merupakan kriteria *strength* yang dominan untuk karton gelombang. Ketahanan retak adalah tekanan maksimal yang diakibatkan sistem hidrolik pada saat mendesak diafragma elastis melalui area lingkaran dari karton ketika dikenakan tekanan sesuai standar. Tekanan membran karet berasal



dari tekanan yang diberikan pada suatu ruangan berisi cairan hidrolik. Menurut Markstörms (2005), ketahanan retak dari karton gelombang dapat diprediksi sebagai penjumlahan ketahanan retak kertas pelapis ditambah 10% ketahanan retak *fluting medium*. Dalam peraturan pengiriman barang menggunakan KKG, ketahanan retak merupakan parameter yang harus diukur dan dilaporkan. Nilai ketahanan retak tidak berkorelasi secara langsung dengan nilai BCT.

## METODOLOGI

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah kertas liner berbagai gramatur hasil pengambilan contoh dari produsen kertas liner yang ada di Indonesia, yaitu pabrik:

- A : *kraft liner* 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- B : *kraft liner* 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- C : *kraft liner* 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- D : *kraft liner* 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- E : *board kraft* 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- Ha : *kraft liner grade a* 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- Hb : *kraft liner grade b* 125, 150 g/m<sup>2</sup>

Kertas medium berbagai gramatur hasil pengambilan contoh dari produsen kertas medium yang ada di Indonesia, yaitu pabrik:

- A : medium 112, 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- B : medium 112, 125, 150, 175 g/m<sup>2</sup>
- C : medium 112, 125, 150, 250 g/m<sup>2</sup>
- D : medium 125 g/m<sup>2</sup>
- E : medium 125, 200, 250 g/m<sup>2</sup>
- F : medium 125 g/m<sup>2</sup>
- G : medium 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- Ha : medium *size press* 112, 125, 150 g/m<sup>2</sup>
- Hb : medium *non size press* 125, 150 g/m<sup>2</sup>

### Metode

Pada kertas liner dan kertas medium dilakukan pengujian gramatur, tebal, *ring crush test* (RCT) atau ketahanan tekan lingkaran, *bending stiffness*, dan ketahanan retak.

### Penamaan struktur KG

Struktur karton gelombang yang dihasilkan diberi notasi sesuai dengan gramatur dan pabrik asal kertas liner-medium, sebagai contoh:

Struktur KG : (L<sub>1</sub>/M/L<sub>2</sub>) 125A/112/125A

Berarti karton gelombang tersebut terbentuk dari kertas liner (L<sub>1</sub>) gramatur 125 g/m<sup>2</sup> pabrik A, kertas medium (M) gramatur 112 g/m<sup>2</sup>, dan

kertas liner (L<sub>2</sub>) gramatur 125 g/m<sup>2</sup> pabrik A. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti dampak substitusi kertas liner oleh kertas medium sebagai kertas pelapis, untuk menghindari kerancuan pengamatan, tidak dilakukan variasi *fluting medium* dari berbagai pabrik. Untuk memprediksi nilai ketahanan tekan kotak digunakan nilai ketahanan *fluting medium* rata-rata dari semua contoh yang ada pada setiap gramatur yang sama.

Jika kertas liner disubstitusi dengan kertas medium struktur KG nya dilambangkan :

(M<sub>1</sub>/M/M<sub>2</sub>) 125A/112/125A

Artinya karton gelombang tersebut terbentuk dari kertas medium (M<sub>1</sub>) gramatur 125 g/m<sup>2</sup> pabrik A, kertas medium (M) gramatur 112 g/m<sup>2</sup>, dan kertas medium (M<sub>2</sub>) gramatur 125 g/m<sup>2</sup> pabrik A.

Karton gelombang dengan gramatur (G) 250 g/m<sup>2</sup> berarti adalah karton gelombang yang dibentuk oleh dua buah kertas pelapis masing-masing dengan gramatur 125 g/m<sup>2</sup>. KG 275 g/m<sup>2</sup> dibentuk oleh kertas pelapis bergramatur 125 g/m<sup>2</sup> dan 150 g/m<sup>2</sup>, KG 300 g/m<sup>2</sup> kertas pelapis masing-masing bergramatur 150 g/m<sup>2</sup>. Dari contoh yang ada dibuat simulasi variasi pasangan kertas liner dan kertas medium, simulasi KG 250 g/m<sup>2</sup> memiliki kode contoh dengan angka indeks 1, 2, dan 3. Angka indeks 1 menggunakan *fluting medium* gramatur 112 g/m<sup>2</sup>, angka indeks 2 *fluting medium* gramatur 125 g/m<sup>2</sup>, dan angka indeks 3 *fluting medium* gramatur 150 g/m<sup>2</sup>. Simulasi KG gramatur 275 g/m<sup>2</sup> memiliki kode contoh dengan angka indeks 4, 5, dan 6. Angka indeks 4 menggunakan *fluting medium* gramatur 112 g/m<sup>2</sup>, angka indeks 5 gramatur 125 g/m<sup>2</sup>, dan angka indeks 6 gramatur 150 g/m<sup>2</sup>. Simulasi KG gramatur 300 g/m<sup>2</sup> memiliki kode contoh dengan angka indeks 7, 8, dan 9. Angka indeks 7 menggunakan *fluting medium* gramatur 112 g/m<sup>2</sup>, angka indeks 8 gramatur 125 g/m<sup>2</sup>, dan angka indeks 9 gramatur 150 g/m<sup>2</sup>. Karton gelombang yang dikaji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada saat dilakukan simulasi variasi pasangan kertas liner dan kertas medium, tidak semua data dapat digunakan karena tidak semuanya memiliki pasangan.



Tabel 1. Simulasi variasi pasangan kertas lainer dan medium

No.	Kode	Struktur KG			Struktur KG Substitusi		
	contoh	L <sub>1</sub>	M	L <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M	M <sub>2</sub>
1	A <sub>1</sub>	125A	112	125A	125A	112	125A
2	B <sub>1</sub>	125B	112	125B	125B	112	125B
3	C <sub>1</sub>	125C	112	125C	125C	112	125C
4	D <sub>1</sub>	125D	112	125D	125D	112	125D
5	E <sub>1</sub>	125E	112	125E	125E	112	125E
6	Ha <sub>1</sub>	125Ha	112	125Ha	125Ha	112	125Ha
7	Hb <sub>1</sub>	125Hb	112	125Hb	125Hb	112	125Hb
8	A <sub>2</sub>	125A	125	125A	125A	125	125A
9	B <sub>2</sub>	125B	125	125B	125B	125	125B
10	C <sub>2</sub>	125C	125	125C	125C	125	125C
11	D <sub>2</sub>	125D	125	125D	125D	125	125D
12	E <sub>2</sub>	125E	125	125E	125E	125	125E
13	Ha <sub>2</sub>	125Ha	125	125Ha	125Ha	125	125Ha
14	Hb <sub>2</sub>	125Hb	125	125Hb	125Hb	125	125Hb
15	A <sub>3</sub>	125A	150	125A	125A	150	125A
16	B <sub>3</sub>	125B	150	125B	125B	150	125B
17	C <sub>3</sub>	125C	150	125C	125C	150	125C
18	D <sub>3</sub>	125D	150	125D	125D	150	125D
19	E <sub>3</sub>	125E	150	125E	125E	150	125E
20	Ha <sub>3</sub>	125Ha	150	125Ha	125Ha	150	125Ha
21	Hb <sub>3</sub>	125Hb	150	125Hb	125Hb	150	125Hb
22	A <sub>4</sub>	125A	112	150A	125A	112	150A
23	B <sub>4</sub>	125B	112	150B	125B	112	150B
24	C <sub>4</sub>	125C	112	150C	125C	112	150C
25	D <sub>4</sub>	125D	112	150D	125D	112	150D
26	E <sub>4</sub>	125E	112	150E	125E	112	150E
27	Ha <sub>4</sub>	125Ha	112	150Ha	125Ha	112	150Ha
28	Hb <sub>4</sub>	125Hb	112	150Hb	125Hb	112	150Hb
29	A <sub>5</sub>	125A	125	150A	125A	125	150A
30	B <sub>5</sub>	125B	125	150B	125B	125	150B
31	C <sub>5</sub>	125C	125	150C	125C	125	150C
32	D <sub>5</sub>	125D	125	150D	125D	125	150D
33	E <sub>5</sub>	125E	125	150E	125E	125	150E
34	Ha <sub>5</sub>	125Ha	125	150Ha	125Ha	125	150Ha
35	Hb <sub>5</sub>	125Hb	125	150Hb	125Hb	125	150Hb
36	A <sub>6</sub>	125A	150	150A	125A	150	150A
37	B <sub>6</sub>	125B	150	150B	125B	150	150B
38	C <sub>6</sub>	125C	150	150C	125C	150	150C
39	D <sub>6</sub>	125D	150	150D	125D	150	150D
40	E <sub>6</sub>	125E	150	150E	125E	150	150E
41	Ha <sub>6</sub>	125Ha	150	150Ha	125Ha	150	150Ha
42	Hb <sub>6</sub>	125Hb	150	150Hb	125Hb	150	150Hb
43	A <sub>7</sub>	150A	112	150A	150A	112	150A
44	B <sub>7</sub>	150B	112	150B	150B	112	150B
45	C <sub>7</sub>	150C	112	150C	150C	112	150C
46	D <sub>7</sub>	150D	112	150D	150D	112	150D
47	E <sub>7</sub>	150E	112	150E	150E	112	150E
48	Ha <sub>7</sub>	150Ha	112	150Ha	150Ha	112	150Ha
49	Hb <sub>7</sub>	150Hb	112	150Hb	150Hb	112	150Hb
50	A <sub>8</sub>	150A	125	150A	150A	125	150A
51	B <sub>8</sub>	150B	125	150B	150B	125	150B
52	C <sub>8</sub>	150C	125	150C	150C	125	150C
53	D <sub>8</sub>	150D	125	150D	150D	125	150D
54	E <sub>8</sub>	150E	125	150E	150E	125	150E
55	Ha <sub>8</sub>	150Ha	125	150Ha	150Ha	125	150Ha
56	Hb <sub>8</sub>	150Hb	125	150Hb	150Hb	125	150Hb
57	A <sub>9</sub>	150A	150	150A	150A	150	150A
58	B <sub>9</sub>	150B	150	150B	150B	150	150B
59	C <sub>9</sub>	150C	150	150C	150C	150	150C
60	D <sub>9</sub>	150D	150	150D	150D	150	150D
61	E <sub>9</sub>	150E	150	150E	150E	150	150E
62	Ha <sub>9</sub>	150Ha	150	150Ha	150Ha	150	150Ha
63	Hb <sub>9</sub>	150Hb	150	150Hb	150Hb	150	150Hb

Dari hasil pengujian kertas lainer dan kertas medium diprediksi hubungan sifat RCT kertas lainer dan kertas medium dengan ECT KG dan BCT KKG. Hubungan kekuatan kertas lainer dan medium dengan kekuatan karton gelombang adalah

$$ECT = k(\sigma_{R,L1}^b + \sigma_{R,L2}^b + \alpha\sigma_{R,f}^b)$$

dengan pengertian:

ECT adalah *edge crush resistance* (ECT) atau ketahanan tekan tepi KG dalam N/m

$\sigma_c^b$  adalah RCT (N/m)

L<sub>1</sub> adalah *liner* 1 atau kertas pelapis 1

L<sub>2</sub> adalah *liner* 2 atau kertas pelapis 2

f adalah *fluting medium*

$\alpha$  adalah *take-up factor* dari *fluting medium* (1,43 (Östlund [8]) untuk flute C, karton gelombang yang dikaji dibatasi jenis flute C)

k adalah konstanta (1,28 menurut Markstörn, 2005)

Hubungan kekuatan KG dengan KKG adalah

$$BCT = k_1 \times (ECT^b)^{0,75} \times (S_B^b)^{0,25} \times Z^{0,5}$$

dengan pengertian:

BCT adalah *box compression test* atau ketahanan tekan kotak dalam N

k<sub>1</sub> adalah konstanta (3,75 (Ostlund [9])

S<sub>B</sub><sup>b</sup> adalah *bending stiffness* KKG dalam Nm

Z adalah periferi dalam m

*Bending stiffness* KKG diprediksi dari *tensile stiffness* kertas pelapis menggunakan rumus berikut ini:

$$S_B^b = 0,5 \times S_T^b \times T^2$$

S<sub>T</sub><sup>b</sup> adalah *tensile stiffness* dari kertas pelapis

T adalah tebal dari KKG

Berdasarkan SNI 14-1439-1989 untuk KG gramatur (G) 250 g/m<sup>2</sup> nilai maksimal Z 0,9 m, untuk G 275 g/m<sup>2</sup> 1,05 m dan untuk G 300 g/m<sup>2</sup> 1,2 m.

Dari simulasi kertas lainer dan medium, dihitung BCT prediksi, hasilnya dibandingkan



dengan prediksi BCT KKG jika kertas lainer disubstitusi oleh kertas medium dari pabrik yang sama dan dihitung penurunan BCT yang terjadi pada gramatur yang sama. Selain parameter BCT, ditinjau pula untuk parameter ketahanan retak. Prediksi ketahanan retak KG dilakukan menggunakan rumus menurut Markstöröm (2005) berikut ini:

$$BS_{KG} = BS_{L1} + BS_{L2} + (10\% \times BS_f)$$

dengan pengertian

$BS_{KG}$  adalah ketahanan retak karton gelombang dalam kilo Paskal (kPa)

$BS_{L1}, BS_{L2}$  adalah ketahanan retak kertas pelapis dalam kilo Paskal (kPa)

$BS_f$  adalah ketahanan retak *fluting medium* dalam kilo Paskal (kPa)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kualitas kertas lainer dan medium

Tabel 2. Hasil uji gramatur kertas lainer

Asal contoh	Gramatur (g/m <sup>2</sup> )	
	125	150
A	125	154
B	123	151
C	128	148
D	129	148
E	131	160
Ha	129	153
Hb	126	151

Tabel 3. Hasil uji gramatur kertas medium

Asal contoh	Gramatur (g/m <sup>2</sup> )					
	112	125	150	175	200	250
A	110	119	146			
B	110	120	145	167		
C	112	127	129			257
D		126				
E		134			211	257
F		120				
G		123	145			
Ha	111	123	147			
Hb		124	153			

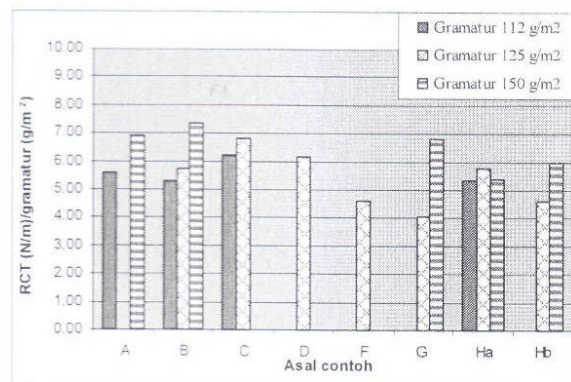
Berdasarkan SNI 14-0440-2006 *Gramatur kertas dan karton*, toleransi gramatur yang diperkenankan untuk kertas dan karton dengan gramatur di atas 60 g/m<sup>2</sup> adalah ± 4%, dengan demikian kertas medium 125A, 125E, 150C,

175B, 200E dan kertas lainer 125E, 150E tidak memenuhi persyaratan sehingga tidak digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. Hasil uji RCT kertas medium

Asal contoh	Gramatur		
	112	125	150
A	613		1013
B	580	690	1064
C	700	862	
D		780	
F		554	
G		503	987
Ha	593	709	793
Hb		574	915
RCT rata-rata (N/m)	622	667	954

Kertas medium dengan gramatur 250 g/m<sup>2</sup> tidak digunakan sebagai *fluting medium* tapi dibuat untuk keperluan substitusi kertas lainer oleh kertas medium sebagai kertas pelapis.



Grafik 1. Perbandingan faktor RCT (RCT/gramatur) *fluting medium*.

Berdasarkan perbandingan faktor RCT *fluting medium* gramatur 112 g/m<sup>2</sup>, 125 g/m<sup>2</sup>, dan 150 g/m<sup>2</sup> dari berbagai pabrik terdapat fluktuasi nilai faktor RCT yang disebabkan oleh perbedaan kualitas kertas. Jadi, selain gramatur kertas, ketahanan tekan lingkaran (RCT) dipengaruhi juga oleh kualitas kertas yang ditentukan oleh kualitas bahan bakunya.

Ketahanan tekan kotak salah satunya dipengaruhi oleh nilai ketahanan tekan tepi, dan ketahanan tekan tepi dipengaruhi oleh ketahanan tekan lingkaran kertas pelapis dan *fluting medium*. Sebagai *fluting medium* biasanya digunakan kertas medium. Dengan semakin meningkatnya nilai ketahanan tekan lingkaran *fluting medium* maka dapat diprediksi bahwa ketahanan tekan kotaknya akan semakin tinggi pula.

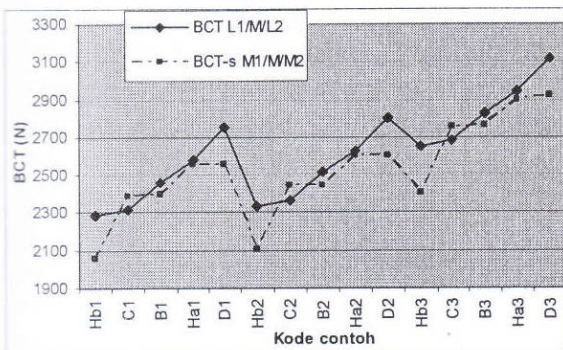


### Substitusi Kertas Lainer oleh Kertas Medium

Parameter yang diukur untuk mempelajari kualitas KKG pada penelitian ini adalah nilai BCT dalam satuan N dan ketahanan retak dalam satuan kPa..

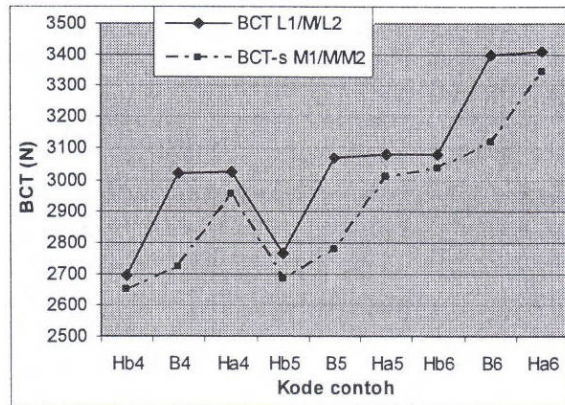
#### Parameter ketahanan tekan kotak atau *box compression strength* (BCT)

Pada karton gelombang gramatur 250 g/m<sup>2</sup> dengan komposisi *fluting medium* gramatur 112 g/m<sup>2</sup> divariasikan dengan kertas pelapis gramatur 125 g/m<sup>2</sup> dari berbagai pabrik (grafik 2, kode contoh ber-indeks 1) memberikan nilai BCT yang berbeda walaupun dengan gramatur yang sama, berarti selain gramatur nilai BCT ditentukan juga oleh faktor lain, yaitu kualitas bahan baku pembentuk kertas lainer dan kertas medium, komposisi bahan baku dan adanya bahan kimia yang dapat meningkatkan ketahanan tekan dan kekakuan kertas.



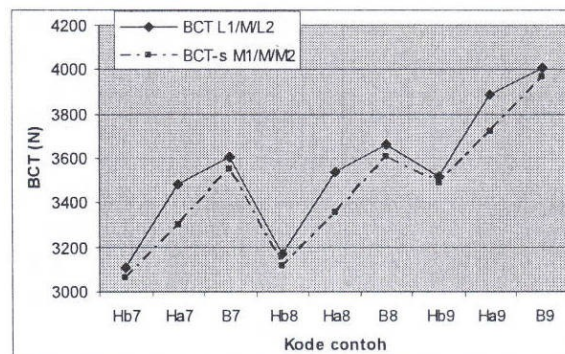
Grafik 2. Perbandingan nilai BCT KKG dengan BCT KKG substitusi gramatur 250 g/m<sup>2</sup>

Ketika *fluting medium* diganti dengan kertas bergramatur 125 g/m<sup>2</sup> (grafik 2, kode contoh ber-indeks 2), grafik yang terbentuk memiliki pola yang sama tetapi memberikan nilai BCT yang lebih tinggi. Demikian pula ketika *fluting mediumnya* diganti dengan kertas bergramatur 150 g/m<sup>2</sup> (grafik 2, kode contoh ber-indeks 3), pola grafik sama dan nilai BCT semakin tinggi. Ini berarti kenaikan gramatur *fluting medium* menaikkan nilai BCT tetapi memiliki pola yang sama dan hanya sedikit mengubah nilai penurunan BCT.



Grafik 3. Perbandingan nilai BCT KKG dengan BCT KKG substitusi gramatur 275 g/m<sup>2</sup>

Ketika simulasi variasi kertas lainer dan kertas medium dilakukan pada karton gelombang gramatur 275 g/m<sup>2</sup> terjadi kenaikan nilai BCT jika dibandingkan karton gelombang gramatur 250 g/m<sup>2</sup>, fenomena tersebut dapat dilihat pada grafik 3, dibandingkan dengan grafik 2.



Grafik 4. Perbandingan nilai BCT KKG dengan BCT KKG substitusi gramatur 300 g/m<sup>2</sup>

Pada saat simulasi variasi dilakukan pada karton gelombang gramatur 300 g/m<sup>2</sup>, fenomena yang sama terjadi, yaitu nilai BCT meningkat, dapat dibandingkan pada grafik 2, 3, dan 4.

Fenomena yang sama pada karton gelombang gramatur 250 g/m<sup>2</sup> dan gramatur 275 g/m<sup>2</sup> terjadi pula, yaitu kenaikan gramatur *fluting medium* menaikkan nilai BCT tetapi hanya sedikit mengubah nilai penurunan BCT. Sama halnya seperti pada gramatur 250 g/m<sup>2</sup> dan gramatur 275 g/m<sup>2</sup>, kualitas dan gramatur *fluting medium* tidak berpengaruh terhadap bentuk kurva dan hanya mengubah sedikit penurunan BCT, tetapi berpengaruh terhadap besaran BCT yang dihasilkan. Variasi *fluting medium* menunjukkan, semakin tinggi gramatur



*fluting medium* yang digunakan, semakin besar pula nilai BCT yang dihasilkan.

Sesuai dengan persamaan McKee dalam Markstöröm (2005)

$$BCT = k_1 \times (ECT^b)^{0,75} \times (S_B^b)^{0,25} \times Z^{0,5}$$

nilai ketahanan tekan kotak dipengaruhi oleh ketahanan tekan tepi, *bending stiffness* dan periferi kotak. Ketahanan tekan tepi dipengaruhi oleh ketahanan tekan lingkaran kertas pelapis dan *fluting medium*. Ketahanan tekan lingkaran dipengaruhi oleh *fibril angle* dan panjang serat. Kertas yang dibuat dari bahan baku dengan serat yang panjang dan berbentuk *flat* akan memiliki kekuatan yang lebih tinggi atau lebih tahan terhadap kerusakan akibat tekanan dibandingkan serat yang lebih pendek dan berbentuk silinder. Dari grafik 2, 3, dan 4 terlihat kenaikan nilai BCT jika *fluting mediumnya* dinaikkan dari gramatur 112 g/m<sup>2</sup> ke gramatur 125 g/m<sup>2</sup> dan dinaikkan lagi menjadi gramatur 150 g/m<sup>2</sup>. Maka nilai ketahanan tekan kotak maksimum ketika *fluting mediumnya* bergramatur tinggi (150 g/m<sup>2</sup>).

Pada gramatur kertas pelapis yang sama, terdapat fluktuasi nilai ketahanan tekan kotak. Ini menunjukkan nilai ketahanan tekan lingkaran kertas pelapis selain ditentukan oleh gramatur, ditentukan juga oleh kualitas bahan baku pembuat kertas pelapis, komposisi bahan, dan bahan kimia kertas. Selain itu fluktuasi juga disebabkan oleh perbedaan *bending stiffness*, yang dipengaruhi oleh *tensile stiffness* KG. *Tensile stiffness* KG dipengaruhi oleh tebal dan *tensile stiffness* kertas pelapis. Menurut Casey [10], adanya bahan kimia kayu seperti hemiselulosa dan lignin dapat meningkatkan nilai kekakuan (*stiffness*). Selain itu bahan kimia kertas seperti pati dan natrium silikat juga dapat meningkatkan *stiffness*. Jadi *stiffness* dipengaruhi oleh kualitas bahan baku, komposisi bahan baku dan bahan kimia kertas.

Jadi, kualitas kertas (dalam hal ini BCT) dipengaruhi oleh *fibril angle* dan panjang serat (berpengaruh terhadap ketahanan tekan lingkaran) serta kandungan hemiselulosa dan lignin dalam bahan baku kertas dan bahan kimia kertas seperti pati dan natrium silikat (berpengaruh terhadap *bending stiffness*). Karena adanya banyak faktor yang berpengaruh terhadap nilai BCT, maka walaupun secara umum kualitas kertas *lainer* lebih baik daripada kertas *medium*, tidak menutup kemungkinan bahwa prediksi nilai BCT pada KKG yang dibentuk seluruhnya dari kertas *medium* memiliki nilai yang lebih tinggi daripada KKG dengan kertas pelapis dari

kertas *lainer*. Fenomena ini dapat dilihat pada grafik 2 kode contoh C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, dan C<sub>3</sub>. Hal ini terjadi karena kualitas kertas *medium* dapat ditingkatkan atau penurunan BCT dapat diminimalkan dengan mengatur komposisi bahan baku dan bahan kimia kertas *medium* sebagai kertas pelapis.

Tabel 5. BCT prediksi rata-rata dan BCT-s prediksi rata-rata serta prediksi penurunan BCT KKG dalam satuan newton (N)

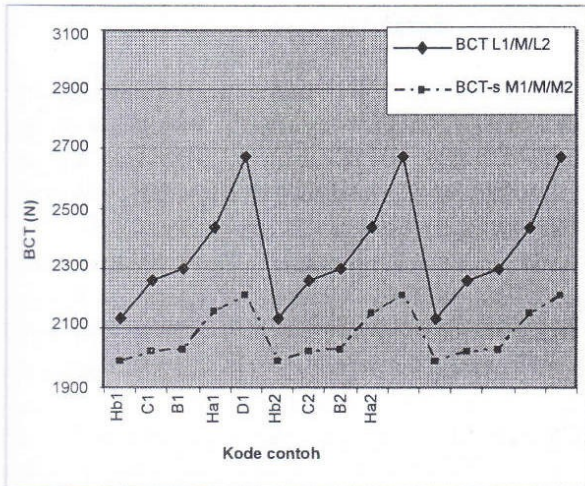
G KKG	Gramatur <i>fluting</i>	BCT rata-rata	BCT-s rata-rata	Penurunan BCT	Penurunan BCT rata-rata
250	112	2480	2391	89	92
	125	2531	2440	90	
	150	2844	2747	97	
275	112	2911	2776	135	139
	125	2972	2823	149	
	150	3298	3168	130	
300	112	3400	3303	97	92
	125	3442	3347	95	
	150	3715	3630	85	

Dari Tabel 5 dapat disimpulkan faktor-faktor yang dapat meningkatkan nilai BCT adalah gramatur KG dan gramatur *fluting medium*. Dari hasil prediksi penurunan BCT KKG yang dibentuk menggunakan kertas *lainer* dan kertas *medium* yang sama hanya variasinya saja yang berbeda, substitusi KKG efektif pada KKG gramatur 250 g/m<sup>2</sup> dan 300 g/m<sup>2</sup> karena menurunkan nilai BCT yang lebih kecil. Untuk KKG gramatur 250 g/m<sup>2</sup> substitusi efektif pada *fluting medium* gramatur 112 g/m<sup>2</sup> dan 125 g/m<sup>2</sup>, sedangkan pada KKG gramatur 300 g/m<sup>2</sup> *fluting medium* efektif pada gramatur 150 g/m<sup>2</sup>.

### Parameter ketahanan retak

Ketahanan retak atau *bursting strength* (BS) adalah fungsi yang kompleks dari ketahanan tarik dan regang. Menurut Casey [10], dua faktor yang mempengaruhi ketahanan retak adalah panjang serat dan ikatan antar serat. Peningkatan panjang serat akan menghasilkan ketahanan retak yang lebih tinggi, tetapi ketahanan retak lebih dipengaruhi oleh ikatan antar serat. Dengan semakin banyaknya ikatan antar serat akan menyebabkan kertas lebih tahan terhadap tekanan yang datangnya tegak lurus terhadap kertas sehingga tidak mudah retak. Jadi serat *virgin* akan mempunyai ketahanan retak yang lebih tinggi daripada serat daur ulang karena memiliki ikatan antar serat yang lebih banyak.



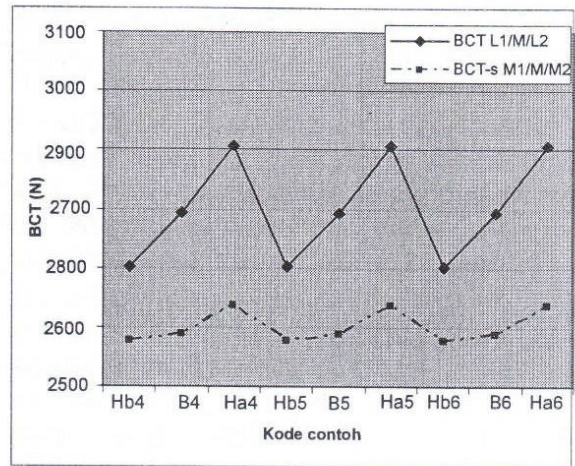


Grafik 5. Perbandingan nilai prediksi ketahanan retak KG dengan prediksi ketahanan retak KG substitusi gramatur 250 g/m<sup>2</sup>

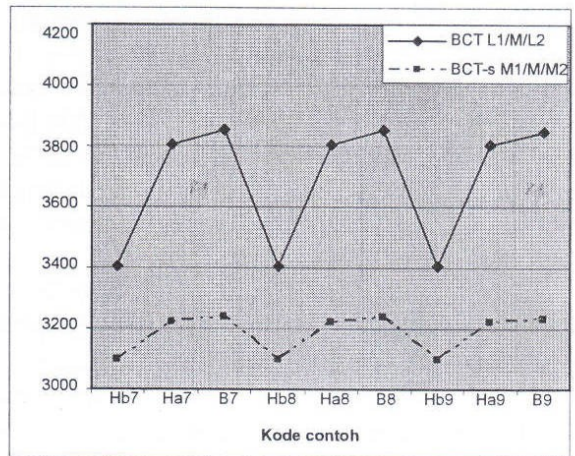
Substitusi kertas lainer oleh kertas medium pada karton gelombang menghasilkan prediksi ketahanan retak yang lebih rendah. Pada grafik 5 terlihat bahwa perubahan gramatur *fluting medium* tidak mengubah nilai prediksi ketahanan retak dan pola grafik, artinya gramatur *fluting medium* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan retak karton gelombang, karena menurut Markstörn (2005), kontribusi ketahanan retak *fluting medium* hanya 10% terhadap ketahanan retak karton gelombang.

Peningkatan gramatur karton gelombang dari gramatur 250 g/m<sup>2</sup> menjadi gramatur 275 g/m<sup>2</sup> meningkatkan nilai prediksi ketahanan retak, dapat dilihat pada grafik 5 dibandingkan dengan grafik 6.

Dari grafik 5, 6, dan 7 terlihat bahwa nilai ketahanan retak karton gelombang dengan kertas pelapis kertas lainer selalu lebih besar dari pada ketahanan retak karton gelombang yang dibentuk seluruhnya oleh kertas medium. Penyebabnya adalah karena kualitas bahan baku kertas lainer lebih baik daripada kualitas bahan baku kertas medium. Kertas lainer umumnya dibuat dari bahan baku pulp belum putih kayu jarum atau *needle unbleached kraft pulp* (NUKP) dan KKG bekas atau *old corrugated carton* (OCC) sedangkan kertas medium dibuat dari bahan baku OCC dan *mix waste*. Pada kertas medium, seluruh bahan bakunya merupakan kertas bekas maka kualitas seratnya rendah karena sudah berulang kali mengalami daur ulang sehingga ikatan antar seratnya lebih sedikit, karena itu nilai ketahanan retaknya



Grafik 6. Perbandingan nilai prediksi ketahanan retak KG dengan prediksi ketahanan retak KG substitusi gramatur 275 g/m<sup>2</sup>



Grafik 7. Perbandingan nilai prediksi ketahanan retak KG dengan prediksi ketahanan retak KG substitusi gramatur 300 g/m<sup>2</sup>

Tabel 6. Prediksi BS KG rata-rata dan BS KG substitusi (BS-s) rata-rata serta prediksi penurunan BS KG dalam satuan kiloPaskal (kPa)

G KG (g/m <sup>2</sup> )	Gramatur <i>fluting</i>	BS rata-rata	BS-s rata-rata	Penurunan BS	Penurunan BS rata-rata
250	112	630	490	140	140
	125	630	490	140	
	150	630	490	140	
275	112	700	501	199	199
	125	700	501	199	
	150	700	501	199	
300	112	745	493	252	251
	125	744	493	251	
	150	744	493	251	



selalu lebih rendah. Faktor yang paling berpengaruh terhadap ketahanan retak adalah ikatan antar serat.

Berdasarkan prediksi penurunan ketahanan retak karton gelombang, kenaikan gramatur karton gelombang dari gramatur 250 g/m<sup>2</sup> menjadi gramatur 275 g/m<sup>2</sup> dan gramatur 300 g/m<sup>2</sup> menaikkan penurunan ketahanan retak dari 140 kPa menjadi 199 kPa dan 251 kPa, jadi substitusi paling efektif pada karton gelombang bergramatur rendah yaitu G 250. Tidak terlihat adanya pengaruh gramatur *fluting medium* terhadap penurunan ketahanan retak karena menghasilkan angka yang sama.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Hasil simulasi karton gelombang dinding tunggal menunjukkan bahwa substitusi kertas liner oleh kertas medium, menurunkan kinerja kotak karton gelombang, sebagaimana diindikasikan oleh penurunan ketahanan tekan kotak dan ketahanan retaknya. Penurunan terkecil dicapai pada kotak karton gelombang dengan gramatur 250 g/m<sup>2</sup>.

Besarnya penurunan atau kenaikan BCT setelah substitusi ditentukan oleh jumlah gramatur kertas pelapis, kualitas kertas liner dan kertas medium atau komposisi bahan yang digunakan, dan hanya sedikit dipengaruhi oleh gramatur *corrugating medium*.

### Saran

Pada penelitian ini digunakan contoh yang berasal dari berbagai pabrik dengan kualitas yang bervariasi walaupun pada gramatur yang sama, karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan pada contoh dengan kualitas yang seragam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Furst, Thomas. 2007. *Strength Test Methods for Board and Packaging Materials* dalam Seminar Teknologi Pulp dan Kertas. BBPK dan Lorentzen & Wettre, Bandung.
- Hadisumarto, Triyanto, 1987. *Penentuan Ketahanan Tekan Tepi Karton Gelombang (flute-C) dari sifat-sifat kertas dasarnya* dalam Berita Selulosa No. 3 vol. XXIII,.
- Hadisumarto, Triyanto, 1995.. *Peran dan Syarat KKG dalam mendukung citra produk* dalam Seminar Kotak Karton Gelombang. Semarang.
- Indonesian Pulp and Paper Association. 2005. *Directory of Indonesian Pulp and Paper Industry*. Jakarta..
- Igarashi, Seiichi. 1985. *Corrugated Paperboard and Corrugated Paperboard Box*. Japan International Cooperation Agency, Japan Packaging Institute. Japan.
- Markstorm, Hakan. 2005. *Testing Methods and Instruments for Corrugated Board*. AB Lorentzen & Wettre, Swedia,
- Gramatur kertas dan karton. SNI 14-0440-2006
- stlund, Soren. *Paper and paperboard based packaging*. [Http://www.hallf.kth.se](http://www.hallf.kth.se)
- stlund, Soren. *Design of paper and board packaging*. [Http://www.hallf.kth.se](http://www.hallf.kth.se)
- Casey, James P. 1981.. *Pulp and paper, Chemistry and chemical technology*. Third edition. Volume 3. John Wiley & Sons, Inc.