

KARAKTERISASI MATERIAL KEMASAN PULP CETAK TANPA PEREKAT DARI PULP BATANG JAGUNG

Muhammad Rifki Aulia Rahman¹, Warman Fatra¹, Zuchra Helwani²

¹Laboratorium Pengujian Bahan, ¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

E-mail: rifki8aulia@gmail.com

ABSTRACT

Molded pulp is an alternative packaging which has renewable and biodegradable properties. The use of molded pulp as packaging material still constrained due to the specific data that describes the characteristics of molded pulp has not widely publicized yet. This study was conducted to identify the characteristics of molded pulp as an alternative packaging material. Cornstalk was selected as raw materials which has abundant availability. Molded pulp packaging was manufactured by thermoformed methods. The thermoset nature of lignin in cornstalks would give possibilities in manufacture of molded pulp without using adhesive. The results showed the mechanical characteristics of binderless molded pulp from cornstalk pulp which have tensile index from 17.78 to 35.78 Nm/g, tear index from 9,25 to 26,09 mN.m²/g, and burst index from 0.901 to 1.5 kPa.m²/g. The effects of dependent variables on the mechanical properties of molded pulp were studied by statistical modelling using a polynomial second order. The empirical models were deduced to satisfactorily fit experimental data with the values of independent variables and allow to quantifying the effects of each variables. The most influential factor on tensile and burst index of molded pulp was temperature of processing. Whereas, the processing pressure has greater influence on tear index of molded pulp.

Keywords: *material characterization; binderless, molded pulp; mechanical properties; statistical modelling.*

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman kemasan mulai diakui sebagai salah satu komponen utama dalam persaingan industri. Tercatat pada tahun 2009 nilai pasar kemasan global mencapai \$563 milyar, dengan sektor industri kemasan plastik sebesar 30% dan laju tahunan sebesar 5% menjadikan plastik sebagai salah satu material kemasan yang paling banyak digunakan [WPO, 2010]. Dominasi plastik sebagai material kemasan disebabkan oleh keunggulan yang dimilikinya seperti, ringan, tahan air, steril, dan visibilitas produk [Williams, 2010]. Namun dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat pemakaian material

plastik cukup serius. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak masalah tersebut adalah dengan menggunakan material kemasan alternatif.

Pulp cetak adalah material kemasan alternatif yang dibuat dari material serat selulosa, termasuk yang dihasilkan dari proses daur ulang, serta memiliki sifat *biodegradable* [Imhoff, 2005]. Pulp cetak dapat dihasilkan menggunakan bahan baku kayu maupun bahan alternatif bukan kayu seperti kertas bekas [Gurav dkk., 2003], ampas tebu [Sridarch dkk., 2008], pelepah sawit [Hunsa-Udom dan Jarupan, 2008], batang jagung [Jaroenpanyaprat, 2011], dan batang gandum [Vargas dkk., 2012].

Namun pengembangan material pulp cetak masih terkendala akibat data karakteristik yang spesifik dari pulp cetak belum banyak dipublikasikan. Dikarenakan pulp cetak memiliki karakteristik mekanik yang unik, yaitu tidak memiliki batas elastisitas yang jelas [Masni-Azian, 2011]. Para peneliti sebelumnya melaporkan bahwa produk pulp cetak berbahan baku pelepah sawit dan batang jagung menghasilkan karakteristik mekanik indeks kekuatan tarik 61,74 Nm/g dan 58 Nm/g, indeks kekuatan sobek 10,67 mN.m²/g dan 5,7 mN.m²/g, serta indeks kekuatan jebol 3,423 kPa.m²/g dan 4,7kPa.m²/g dengan perlakuan penambahan aditif perekat pati kation pada proses pembuatannya.

Kajian pembuatan produk berbasis serat tanpa menggunakan perekat telah dilakukan seperti pada pembuatan papan partikel tanpa perekat dari batang sawit [Hashim dkk., 2010]. Lignin mulai berkemampuan sebagai resin pengikat pada temperatur diatas 140°C menggunakan bahan baku serabut kelapa [van Dam dkk., 2004]. Sehingga pembuatan produk serat selulosa dapat dilakukan tanpa penambahan aditif perekat [Okuda dkk., 2006].

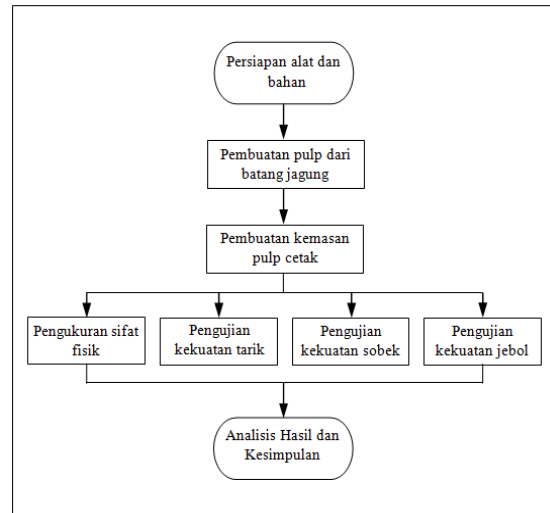
2. Metode Penelitian

Penyusunan metode penelitian dilakukan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian yang dilakukan. Metode ini berisikan tata cara pelaksanaan penelitian mulai dari persiapan alat dan bahan baku, pembuatan pulp cetak, pembuatan kemasan pulp cetak, pengujian kemasan pulp cetak hingga analisis penarikan kesimpulan. Metode penelitian digambarkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 1.

2.1. Persiapan Alat dan Bahan

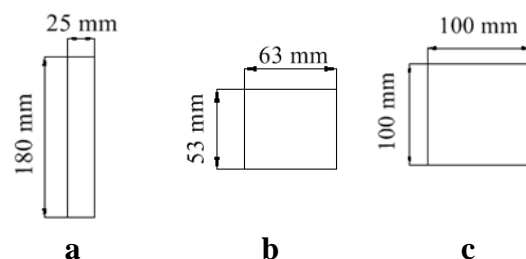
Persiapan kemasan pulp cetak diawali dengan proses pengambilan serat secara semi kimia menggunakan *digester* dan proses pencetakan menggunakan mesin cetak. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah batang jagung. Batang jagung dipotong-potong

dengan panjang ±5cm kemudian dikeringkan dengan sinar matahari hingga kadar air pada batang jagung kurang dari 10%. Untuk mengetahui kadar air pada batang jagung dilakukan proses pengeringan dengan oven pada suhu 105°C.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Produk kemasan pulp cetak diuji sesuai dengan standar TAPPI T494, TAPPI T414, dan TAPPI T807 menggunakan alat *Universal Testing Machine*, *L&W Tearing Tester*, dan *L&W Bursting Tester*. Adapun dimensi spesimen kemasan pulp cetak tanpa perekat diatur sesuai dengan standar pengujian. Setiap kemasan pulp cetak tanpa perekat diambil tiga jenis spesimen untuk setiap pengujian dari bagian dasar kemasan. Dimensi spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen uji. a) uji tarik; b) uji sobek; dan c) uji jebol.

2.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap pada penelitian ini massa lembaran pulp sebelum dicetak sebesar 10 gram. Variabel ini dianggap tetap karena lembaran pulp cetak merupakan produk *intermediate* dan bukan sebagai hasil akhir yang ini dipelajari.

Variabel bebas adalah kondisi proses saat pencetakan lembaran pulp menjadi kemasan pulp cetak tanpa perekat pada kondisi:

1. Variasi temperatur : 140°C, 160°C dan 180°C.
2. Variasi tekanan : 4bar, 6bar dan 8bar.
3. Variasi waktu : 1 menit, 2 menit dan 3 menit.

2.3. Rancangan Percobaan

Penerapan RSM (*Response Surface Methodology*) dengan menggunakan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD) dilakukan untuk menjelaskan secara sistematis sekumpulan data hasil pengujian secara efisien sehingga respon dapat dihitung atau diamati [Montgomery, 1997]. Berdasarkan rancangan percobaan CCD didapat jumlah tempuhan percobaan sebanyak 8 tempuhan *fractional factorial design*, 6 tempuhan *star point*, dan 6 tempuhan *central point* dengan 1 tingkat replikasi maka total tempuhan untuk penelitian ini berjumlah 40 kali.

Titik tempuhan *fractional factorial design* didapat dari 2^k faktorial, dimana k merupakan jumlah variabel. Pada penelitian ini terdapat 3 variabel proses (variasi temperatur, variasi tekanan, dan variasi waktu), sehingga didapat *fractional factorial design* (F) berjumlah 8 titik. *Star point* memberikan batasan level yang digunakan untuk setiap variable. Batasan level untuk tiap variabel dinyatakan dengan $\alpha = 2^{k/4}$, sehingga pada percobaan ini didapat nilai $\alpha = 1,682$. *Central point* merupakan pengulangan pada titik tengah untuk memperkirakan pusat kelengkungan [Montgomery, 1991].

Untuk memudahkan perhitungan dalam pengolahan data, variabel proses dikodekan kedalam rentang (-1, 0, 1). Sehingga hubungan antara variabel proses (ξ_i) dan variabel kode (X_i) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$X_i = \frac{\xi_i - \xi_{mid}}{\left[(\xi_{high} - \xi_{low}) / 2 \right]} \quad \dots\dots(1)$$

Variabel bebas merujuk pada perilaku lignin sebagai perekat *thermoset* pada penelitian papan partikel tanpa perekat [van Dam dkk., 2004; Hashim dkk., 2010]. Tempuhan untuk rancangan percobaan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tempuhan Rancangan Percobaan

| Run | Natural Variables | | | Coded Variables | | |
|-----|-------------------|---------|---------|-----------------|--------|--------|
| | ξ_1 | ξ_2 | ξ_3 | X_1 | X_2 | X_3 |
| 1 | 140 | 4 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 2 | 140 | 4 | 3 | -1 | -1 | 1 |
| 3 | 140 | 8 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 4 | 140 | 8 | 3 | -1 | 1 | 1 |
| 5 | 180 | 4 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| 6 | 180 | 4 | 3 | 1 | -1 | 1 |
| 7 | 180 | 8 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| 8 | 180 | 8 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 126,36 | 6 | 2 | -1.682 | 0 | 0 |
| 10 | 193,64 | 6 | 2 | 1.682 | 0 | 0 |
| 11 | 160 | 2,632 | 2 | 0 | -1.682 | 0 |
| 12 | 160 | 9,364 | 2 | 0 | 1.682 | 0 |
| 13 | 160 | 6 | 0,318 | 0 | 0 | -1.682 |
| 14 | 160 | 6 | 3,682 | 0 | 0 | 1.682 |
| 15 | 160 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 160 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 160 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 160 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 160 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 160 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 |

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pulp Batang Jagung

Proses pengambilan serat batang jagung dilakukan secara semi kimia dengan ekstrak abu TKS sebagai sumber alkali. Ekstrak abu TKS sebagai pelarut dalam penelitian ini memiliki pH sekitar 13. Pulp diproses menggunakan *digester* bertekanan dengan temperatur sebesar 115°C selama 180 menit pada tekanan 14,6 psig, nisbah larutan padatan

8:1, serta menggunakan ekstrak abu TKS 25%. Pulp batang jagung kemudian di *blender* sebagai perlakuan mekanis agar serat yang didapat halus. [Rionaldo dkk., 2008].

Pulp batang jagung yang dihasilkan memiliki tekstur halus dan lunak meskipun masih terdapat sedikit batang jagung yang belum menjadi pulp secara sempurna. Perolehan pulp batang jagung pada penelitian ini sebesar 69%, lebih besar jika dibandingkan dengan *yield* pulp batang jagung yang dihasilkan Rionaldo dkk. [2008] sebesar 63,5%. Perolehan tersebut sesuai dengan rata-rata *yield* pulp yang umumnya dihasilkan dengan proses semi kimia yaitu 50 - 80% [Biermann, 1996]. Perlakuan awal terhadap serat bahan baku, memiliki efek yang signifikan terhadap sifat produk yang akan dihasilkan [van Dam dkk., 2004].

3.2. Pulp Cetak Batang Jagung

Sebelum di cetak pulp dibentuk menjadi lembaran agar gramatur terjaga dan mempermudah proses pencetakan. Gramatur pulp cetak yang diperoleh pada kisaran 300 gsm dengan toleransi kesalahan <10%. Penggunaan aditif perekat ditiadakan, karena lignin pada pulp telah diketahui sebelumnya dapat berfungsi sebagai resin perekat jika dipanaskan pada temperatur lebih dari 140°C [van Dam, 2004]. Kemasan pulp cetak batang jagung yang dihasilkan memiliki permukaan yang relatif halus pada kedua sisinya, karena produk serat selulosa yang dicetak dengan temperatur tinggi akan menghasilkan produk dengan permukaan yang halus [Hashim dkk., 2011]. Kemasan pulp cetak yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

3.3. Desain dan Evaluasi Model

Pengaruh kondisi operasi terhadap respon dipelajari dengan memodelkan data hasil percobaan ke persamaan polinomial kuadratik. Model polinomial kuadratik diuji tingkat kesesuaian dengan metode *analysis of varian* (ANOVA) sebelum digunakan untuk mengamati

pengaruh kondisi operasi. Pengujian ANOVA meliputi tingkat kesesuaian model terhadap data dan tingkat signifikan dari masing-masing sumber varian terhadap respon yang diteliti.



Gambar 3. Kemasan pulp cetak batang jagung tanpa perekat

Pengujian tingkat kesesuaian model dapat dianalisis berdasarkan nilai R^2 dari setiap respon yang diteliti. Analisis R^2 menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian model terhadap setiap respon besar dari 90% (Tabel 2). Namun tingginya nilai R^2 tidak dapat begitu saja menjadi patokan bahwa model tersebut sesuai. Untuk itu dilakukan analisis *lack of fit* terhadap data, berdasarkan tabel tidak ada respon yang memiliki nilai *lack of fit* yang signifikan terhadap model.

Tabel 2. Rangkuman nilai *p-value* untuk setiap respon

| Sumber Varians | Tensile Index | Tear Index | Burst Index |
|----------------|---------------|------------|-------------|
| Model | < 0,0001* | < 0,0001* | < 0,0001* |
| A-Temperatur | < 0,0001* | < 0,0001* | < 0,0001* |
| B-Tekanan | < 0,0001* | < 0,0001* | < 0,0001* |
| C-Waktu | < 0,0001* | < 0,0001* | < 0,0001* |
| AB | 0,0034 | < 0,0001* | 0,0373 |
| AC | 0,8553 | 0,0050 | 0,1110 |
| BC | 0,0979 | 0,8855 | 0,1446 |
| A ² | 0,0045 | < 0,0001* | < 0,0001* |
| B ² | 0,0934 | 0,1546 | < 0,0001* |
| C ² | 0,2030 | < 0,0001* | 0,0088 |
| Lack of Fit | 0,6920 | 0,0705 | 0,1638 |
| R ² | 0,9027 | 0,9392 | 0,9346 |

Keterangan: *signifikan

Pengujian tingkat signifikan dilakukan dengan menghitung nilai F setiap sumber varian. Perbandingan antara tingkat probabilitas yang digunakan 0,01 terhadap nilai F didapat *p-value* setiap sumber varian. Nilai *p-value* tersebut menyatakan tingkat signifikan dari sumber varian. Selanjutnya perbandingan nilai F_o terhadap F_{tabel} adalah uji simultan atau secara menyeluruh model untuk menyatakan, bahwa model dapat digunakan untuk mengamati pengaruh kondisi operasi terhadap setiap respon yang diteliti. Rangkuman nilai F_o untuk setiap respon dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Rangkuman nilai F_o untuk setiap respon (Y_i)

| Respon | Sumber | SS | df | MS | F_o |
|---------------|---------|---------|----|--------|--------|
| Tensile Index | Regresi | 656,222 | 9 | 72,914 | 32,579 |
| | Error | 67,142 | 30 | 2,238 | |
| | Total | 816,75 | 39 | | |
| Tear Index | Regresi | 891,848 | 9 | 99,094 | 51,504 |
| | Error | 57,722 | 30 | 1,924 | |
| | Total | 949,570 | 39 | | |
| Burst Index | Regresi | 0,9723 | 9 | 0,1028 | 44,695 |
| | Error | 0,0681 | 30 | 0,0023 | |
| | Total | 1,0404 | 39 | | |

3.3.1 Analisis Respon Indeks Kekuatan Tarik

Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan kuadrat dari model indeks kekuatan tarik dalam bentuk kode variabel yang dituliskan pada persamaan 2. Berdasarkan persamaan tersebut dapat diamati variabel temperatur memiliki pengaruh paling besar terhadap respon indeks kekuatan tarik, diikuti oleh pengaruh waktu dan tekanan. Dapat dituliskan kedalam perbandingan $x_1 > x_3 > x_2$.

$$Y_1 = 23,6 + 3,67x_1 + 1,78x_2 + 2,31x_3 + 1,19x_1x_2 + 0,069x_1x_3 - 0,64x_2x_3 + 0,85x_1^2 + 0,48x_2^2 + 0,36x_3^2 \dots\dots(2)$$

dengan:

$$Y_1 = \text{indeks kekuatan tarik (N.m/g)}$$

$$x_1 = \text{temperatur (}^\circ\text{C)}$$

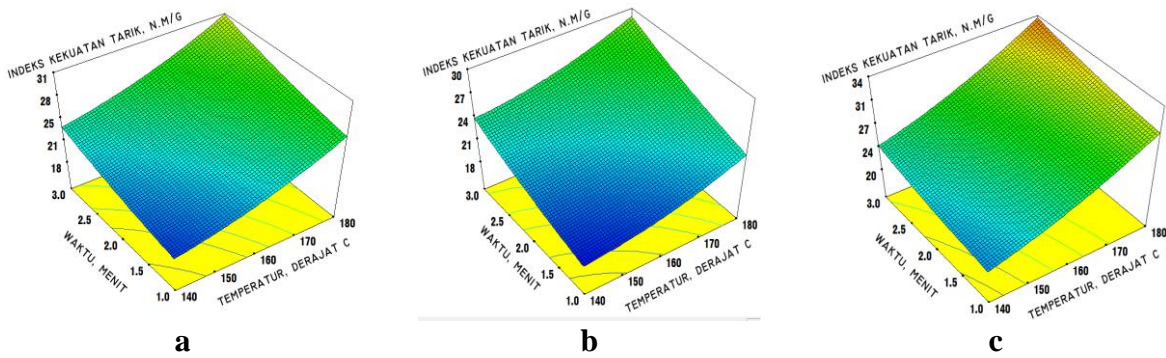
$$x_2 = \text{tekanan (bar)}$$

$$x_3 = \text{waktu (menit)}$$

Grafik respon permukaan dari variabel kondisi proses terhadap respon indeks kekuatan tarik disajikan pada Gambar 4. Variabel tekanan (x_2) diplot sebagai sumbu tetap pada rentang kondisi proses -1,0, dan 1, karena pengaruhnya relatif paling kecil dibanding variabel x_1 dan x_3 . Secara umum ketiga variabel memiliki pengaruh positif terhadap nilai indeks kekuatan tarik.

Pada kondisi proses dengan $x_2 = 4$ bar, nilai indeks kekuatan tarik tertinggi adalah 30,786 N.m/g, pada temperatur sebesar 180°C dengan waktu 3 menit. Sedangkan nilai indeks kekuatan tarik terendah adalah 17,778 N.m/g pada kondisi temperatur 140°C dan waktu 3 menit (Gambar 4a). Kemudian pada kondisi proses dengan $x_2 = 6$ bar, nilai indeks kekuatan tarik tertinggi pada temperatur 193,64°C dan waktu 2 menit sebesar 32,788 N.m/g. Nilai indeks kekuatan tarik terendah pada kondisi temperatur 126,36°C dan waktu 19 detik sebesar 18,961 N.m/g (Gambar 4b). Begitu juga untuk kondisi proses $x_2 = 8$ bar, nilai indeks kekuatan tarik yang tertinggi dan terendah yang diperoleh masing-masing adalah 35,777 N.m/g dan 20,879 N.m/g. Nilai indeks kekuatan tarik tertinggi didapat pada kondisi proses temperatur 180°C dan waktu 3 menit, sedangkan nilai indeks kekuatan tarik terendah didapat pada kondisi proses temperatur 140°C dan waktu 1 menit (Gambar 4c).

Nilai indeks kekuatan tarik terendah didapat pada pengujian dengan rentang variabel kode -1,-1,-1 yaitu 17,778 N.m/g, sedangkan nilai indeks kekuatan tarik tertinggi didapat pada pengujian dengan rentang variabel kode 1,1,1 yaitu 35,777 N.m/g. Nilai indeks kekuatan tarik kemasan pulp cetak tanpa perekat dari batang jagung pada penelitian ini masih jauh dibawah nilai indeks kekuatan tarik pada penelitian Jaroenpanyaprat [2010] yaitu sebesar 58 Nm/g. Penggunaan aditif perekat pada pulp cetak dapat meningkatkan derajat kekuatan internal ikatan serat, sehingga nilai indeks kekuatan tarik juga naik [Hunsa-Udon dan Jarupan, 2008].



Gambar 4. Grafik RSM temperatur vs waktu terhadap respon indeks kekuatan tarik pada tekanan: a). $x_2= 4$ bar, b). $x_2= 6$ bar, dan c). $x_2= 8$ bar

Nilai indeks kekuatan tarik kemasan pulp cetak dapat ditingkatkan dengan pencarian kondisi proses yang optimal dari koefisien persamaan 2. Dengan nilai titik stasioner hasil perhitungan yaitu $x_{1,0} = -3,85$; $x_{2,0} = 2,49$; dan $x_{3,0} = -0,61$. Maka prediksi nilai indeks kekuatan tarik optimum terdapat pada titik; $Y_1 = 18,04$ N.m/g pada kondisi proses temperatur $82,84^\circ\text{C}$, tekanan $10,99$ bar, dan waktu $1,38$ menit.

3.3.2 Analisis Respon Indeks Kekuatan Sobek

Pengaruh kondisi proses terhadap respon indeks kekuatan sobek dianalisis menggunakan RSM. Berdasarkan model persamaan kuadratik dengan koefisien persamaan yang dihasilkan dapat digunakan untuk melihat pengaruh kondisi proses terhadap respon indeks kekuatan sobek. Persamaan untuk respon indeks kekuatan sobek berdasarkan kode variabelnya diberikan pada persamaan 3. Dari persamaan tersebut interaksi antar kondisi proses untuk respon indeks kekuatan sobek adalah $x_2 > x_1 > x_3$. Tekanan memberikan pengaruh yang paling besar terhadap respon indeks kekuatan sobek.

$$Y_2 = 13,32 - 2,68x_1 - 2,43x_2 - 3,35x_3 + 1,88x_1x_2 - 1,05x_1x_3 + 0,05x_2x_3 + 1,73x_1^2 + 0,38x_2^2 + 1,7x_3^2 \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

$$Y_2 = \text{indeks kekuatan sobek (mN.m}^2\text{/g)}$$

$$x_1 = \text{temperatur (}^\circ\text{C)}$$

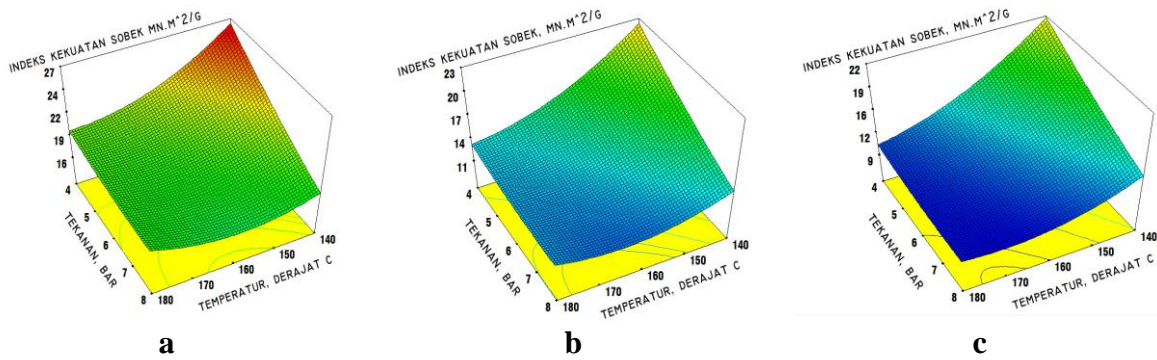
$$x_2 = \text{tekanan (bar)}$$

$$x_3 = \text{waktu (menit)}$$

Pengaruh berbagai kondisi proses terhadap nilai indeks kekuatan sobek disajikan pada Gambar 5. Pada kondisi proses dengan $x_3= 1$ menit, nilai indeks kekuatan sobek tertinggi saat temperatur 140°C dan tekanan 1 bar sebesar $26,087$ mN.m²/g. Sedangkan nilai indeks kekuatan sobek terendah pada temperatur 140°C dan tekanan 8 bar yaitu sebesar $15,229$ mN.m²/g. (Gambar 5a).

Kemudian untuk kondisi proses dengan $x_3= 2$ menit, nilai indeks kekuatan sobek tertinggi adalah $25,095$ mN.m²/g pada kondisi temperatur sebesar $126,36^\circ\text{C}$ dan tekanan 6 bar. Kemudian nilai indeks kekuatan sobek terendah adalah sebesar $9,59$ mN.m²/g, pada temperatur 160°C dan tekanan 6 bar. (Gambar 5b). Pada kondisi proses $x_3= 3$ menit, nilai indeks kekuatan sobek yang tertinggi dan terendah yang diperoleh masing-masing adalah $21,141$ mN.m²/g dan $9,25$ mN.m²/g. Nilai indeks kekuatan sobek tertinggi didapat pada kondisi proses temperatur 184°C dan tekanan 4 bar, sedangkan nilai indeks kekuatan sobek terendah didapat pada kondisi proses temperatur 180°C dan tekanan 8 bar. (Gambar 5c).

Nilai indeks kekuatan sobek rata-rata yang diperoleh adalah $15,921$ mN.m²/g. Sedangkan nilai indeks kekuatan sobek tertinggi dan terendah masing-masing adalah $26,087$ mN.m²/g dan $9,253$ mN.m²/g. Nilai indeks kekuatan sobek tertinggi didapat pada rentang variabel kode $-1, -1$ sedangkan nilai indeks kekuatan sobek



Gambar 5. Grafik RSM temperatur vs tekanan terhadap respon indeks kekuatan sobek pada waktu: a). $x_3= 1$ menit, b). $x_3= 2$ menit, dan c). $x_3= 3$ menit

terendah didapat pada rentang variabel kode 1,1,1. Rendahnya nilai indeks kekuatan sobek pada rentang variabel kode tertinggi disebabkan terjadinya hidrolisis dari konstituen polimer dinding sel dalam serat lignoselulosa oleh uap panas yang dihasilkan pada saat pencetakan [van Dam dkk., 2004]. Sehingga kemasan pulp cetak yang dihasilkan pada kondisi proses dengan rentang variabel kode tertinggi relatif lebih mudah meneruskan sobekan jika dibandingkan dengan kemasan pulp cetak yang dihasilkan pada kondisi proses dengan rentang variabel kode lainnya.

Perbandingan hasil nilai indeks kekuatan sobek kemasan pulp cetak tanpa perekat dari batang jagung yang didapat lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian kemasan pulp cetak dari batang jagung Jaroenpanyaprat [2010] yaitu 5,7 mN.m²/g. Hal ini disinyalir akibat penggunaan tekanan tinggi saat pencetakan yang dilakukan Jaroenpanyaprat [2010]. Penggunaan tekanan terlalu tinggi menyebabkan kemasan pulp cetak yang dihasilkan bersifat getas [Hunsa-Udom dan Jarupan, 2008].

Nilai indeks kekuatan sobek dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan kondisi proses yang optimum, seperti yang ditampilkan pada. Hasil perhitungan nilai titik stasioner dari persamaan 2 yaitu $x_{1,0} = 1,39$; $x_{2,0} = -0,33$; dan $x_{3,0} = 1,42$. Maka diprediksi pada kondisi proses temperatur 187,71° C, tekanan 5,33 bar, dan waktu 3,41 menit nilai indeks kekuatan sobek optimum sebesar $Y_2 = 11,46$ mN.m²/g.

3.3.3 Analisis Respon Indeks Kekuatan Jebol

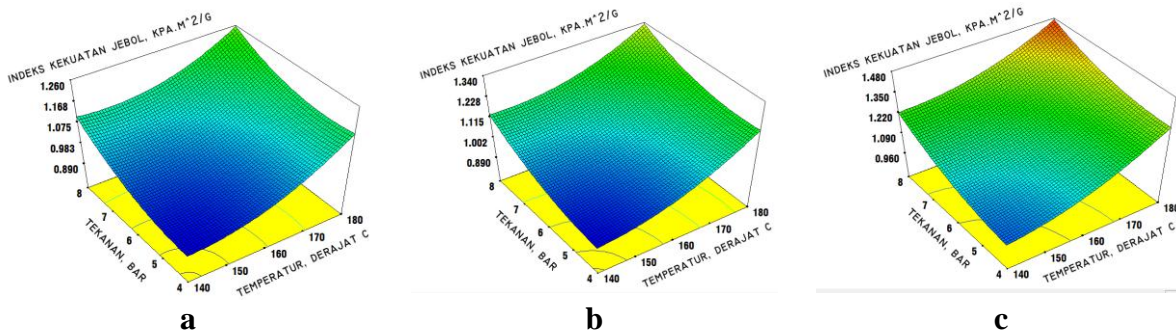
Analisis RSM diterapkan untuk melihat pengaruh kondisi proses terhadap respon indeks kekuatan jebol. Hasil dari analisis berupa persamaan kuadratik untuk respon indeks kekuatan jebol. Nilai dari koefisien persamaan respon indeks kekuatan jebol memperlihatkan pengaruh kondisi proses terhadap respon. Berdasarkan koefisien persamaan yang diberikan pada persamaan 4, terlihat kondisi proses temperatur memiliki pengaruh yang lebih besar dibanding dengan tekanan dan waktu, interaksi antar kondisi proses didapat sebagai berikut $x_1 > x_2 > x_3$.

$$Y_3 = 1,03 + 0,12x_1 + 0,095x_2 + 0,07x_3 + 0,024x_1x_2 + 0,022x_1x_3 + 0,016x_2x_3 + 0,06x_1^2 + 0,048x_2^2 + 0,032x_3^2 \dots\dots(4)$$

dengan:

- Y_3 = indeks kekuatan jebol (kPa.m²/g)
- x_1 = temperatur (°C)
- x_2 = tekanan (bar)
- x_3 = waktu (menit)

Grafik respon permukaan untuk indeks kekuatan jebol dibuat pada rentang variabel kondisi proses waktu 4, 6, dan 8 bar. Kondisi proses waktu diplot sebagai sumbu tetap, karena variabel ini kurang mempengaruhi nilai indeks kekuatan jebol dibanding dengan temperatur dan waktu.



Gambar 6. Grafik RSM temperatur vs tekanan terhadap respon indeks kekuatan jebol pada waktu: a). $x_3= 1$ menit, b). $x_3= 2$ menit, dan c). $x_3= 3$ menit

Pada Gambar 6a untuk kondisi proses $x_3= 1$ menit, nilai indeks kekuatan jebol yang tertinggi dan terendah yang diperoleh masing-masing adalah 1,308 kPa.m²/g dan 0,901 kPa.m²/g. Nilai indeks kekuatan jebol tertinggi didapat pada kondisi proses temperatur 180°C dan tekanan 8 bar, sedangkan nilai indeks kekuatan jebol terendah didapat pada kondisi proses temperatur 140°C dan tekanan 4 bar.

Pada Gambar 6b untuk kondisi proses dengan $x_3= 2$ menit, nilai indeks kekuatan jebol tertinggi adalah 1,370 kPa.m²/g, pada kondisi temperatur 193,64°C dan tekanan 6 bar. Sedangkan nilai indeks kekuatan jebol terendah adalah 0,956 kPa.m²/g, pada temperatur 160°C dan tekanan 6 bar. Kemudian pada Gambar 6c untuk kondisi proses dengan $x_3= 3$ menit, nilai indeks kekuatan jebol tertinggi, temperatur 180°C dan tekanan 8 bar sebesar 1,473 kPa.m²/g. Sebaliknya, nilai indeks kekuatan jebol terendah, pada temperatur 140°C dan tekanan 4 bar yaitu 0,928 kPa.m²/g.

Nilai indeks kekuatan jebol tertinggi dan terendah masing-masing adalah 1,5 kPa.m²/g dan 0,901 kPa.m²/g. Nilai indeks kekuatan jebol tertinggi didapat pada rentang variabel kode 1,1,1 sedangkan nilai indeks kekuatan jebol terendah didapat pada rentang variabel kode -1,-1,-1. Nilai indeks kekuatan jebol tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai indeks kekuatan jebol pulp cetak dengan perekat, seperti pada penelitian Jaroenpanyaprat [2010]. Tidak digunakannya perekat pada penelitian ini mungkin menyebabkan nilai indeks jebol tersebut lebih kecil. Karena nilai indeks

kekuatan jebol yang baik dapat dicapai jika proses perubahan lignin menjadi resin pengikat diikuti dengan terbentuknya struktur ikatan serat yang kuat [van Dam dkk., 2004].

Tabel 4. Perbandingan produk kemasan pulp cetak

| Uraian | Hunsa-Udom dan Jarupan [2008] | Jaroenpanyaprat [2010] | Penelitian ini [2015] |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Bahan Baku | Pelepah Sawit | Batang Jagung | Batang Jagung |
| Aditif perekat | pati kation | pati kation | - |
| Temperatur | 125 | 125 | 140,160,180 |
| Tekanan | 2,5 | 20 | 4,6,8 |
| Waktu | 23 | 3 | 1,2,3 |
| Tensile Index (Nm/g) | 61,74 | 58 | 24,763 |
| Tear Index (mN.m ² /g) | 10,67 | 5,7 | 15,921 |
| Burst Index (kPa.m ² /g) | 3,423 | 4,7 | 1,127 |

4. Simpulan

1. Karakteristik fisik kemasan pulp cetak tanpa perekat dari pulp batang jagung yang didapatkan pada penelitian ini adalah, nilai densitas sebesar 0,032 g/cm³ dan nilai grammatur sebesar 320,727 gr/m².
2. Karakteristik mekanik kemasan pulp cetak tanpa perekat dari pulp batang jagung yang didapatkan pada penelitian ini adalah, nilai indeks kekuatan tarik 17,78 - 35,78 N.m/g, nilai indeks kekuatan sobek 9,25 - 26,09 mN.m²/g dan nilai indeks kekuatan jebol 0,901-1,5 kPa.m²/g.

3. Perolehan nilai karakteristik mekanik kemasan pulp cetak tanpa perekat dari pulp batang jagung dapat ditingkatkan dengan menggunakan persamaan nilai optimum dari model sebagai berikut:
 - a. $Y_1 = 23,6 + 3,67x_1 + 1,78x_2 + 2,31x_3$, nilai indeks kekuatan tarik optimum pada kondisi proses; $x_1 = 82,84^\circ\text{C}$; $x_2 = 10,99$ bar; dan $x_3 = 1,38$ menit.
 - b. $Y_2 = 13,32 - 2,68x_1 - 2,43x_2 - 3,35x_3 + 1,88x_1x_2 + 1,73x_1^2 + 1,7x_3^2$, nilai indeks kekuatan sobek optimum pada kondisi proses; $x_1 = 187,71^\circ\text{C}$; $x_2 = 5,33$ bar; dan $x_3 = 3,41$ menit.
 - c. $Y_3 = 1,03 + 0,12x_1 + 0,095x_2 + 0,07x_3 + 0,06x_1^2 + 0,048x_2^2$, nilai indeks kekuatan jebol optimum pada kondisi proses $x_1 = 132,33^\circ\text{C}$; $x_2 = 3,19$ bar; dan $x_3 = 2,49$ menit.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah memberikan dana melalui BOPTN 2013.

Daftar Pustaka

- Bierman C.J.** 1996. *Handbook of Pulping and Papermaking*, 2nd ed., USA, Academic Press.
- Gurav, S.P., Berezniiski, A., Heidweiller, A. dan Kandachar, P. V.** 2003. *Mechanical properties of paper-pulp packaging*. Journal of Composites Science and Technology, 63: 1325-1334.
- Hashim R., Said N., Lamaming J., Baskara M., Sulaiman O., Sato M., Hizioglu S. dan Sugimoto T.** 2011. *Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk*. Journal of Materials and Design, 31: 2520-2525.
- Hunsa-Udom R. dan Jarupan L.** 2008. *Mechanical Properties of Oil Palm Pulp Sheets for Pulp-Molded Packaging: A Preliminary Study*. Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.18 No.2 pp.229-232.
- Imhoff, D.** 2005. *Paper or Plastic : Searching for Solutions to an Overpacked World*. Sierra Club Books.
- Jaroenpanyaprat W.** 2011. *Cornstalk as an alternative fiber source for molded pulp*. Pulp and paper technology Program, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand.
- Mazni-Azian, A. dan Choudhury, I.A.** 2011. *Tensile properties of paper pulp food packaging material*. Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 5, No. 2: 1985-3157.
- Montgomery, D.C.** 1991. *Design And Analysis of Experiments*, 3rd ed., USA, John Wiley & Sons.
- Okuda N., Hori K., Sato M.** 2006. *Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (II): effects on the binderless board properties*. Journal Wood Science, 52:249–54.
- Rionaldo, H., Edison, Zulfansyah dan M.I Fermi.** 2008. *Pembuatan Pulp Batang Jagung dengan Larutan Pemasak Ekstrak Abu Tandan Kosong Sawit*. Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardoyo, Kampus Institut Teknologi Bandung, 3-4 November 2008.
- Van Dam J.E.G., Van den Oever M.J.A. dan Keijsers E.R.P.** 2004. *Production for high density and performance binderlessboards from whole coconut husk*. ICP, 20: 97–101.
- Vargas, F., Gonzalez, Z., Sanchez, R., Jimenez, L. dan Rodriguez, A.** 2012. *Straw pulps for packaging*. BioResources, 7(3), 4161-4170.
- Williams, C.A.** 2010. *Packaging System Redesign: A Study in Designing More Sustainable Product Packaging Systems*. Mechanical Engineering Program, The Ohio State University. USA.
- WPO: World Packaging Organization.** "Market Statistic and Future Trends in Global Packaging".