

Pembuatan Pulp Cetak Tanpa Perekat dari Pulp Batang Jagung

Muhammad S. A. Aziz, Zulfansyah*, Warman Fatra, Hari Rionaldo

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

*Corresponding Author's E-mail: zulfansyah@unri.ac.id

Abstract

Packaging material's demand continue to increase along with the development of industry all over the world. Styrofoam as conventional packaging materials, have been looked for a substitute because it does not decompose and the depletion of fossil fuels as it's feedstock. Cornstalk has abundant amount as biomass waste. Despite it's well known quality as raw material for pulp, it hasn't got utilized yet. Molded pulp as one of the alternative packaging, has a promising future with it's degradable characteristics and good mechanical properties. Cornstalk as raw material for the pulp along with the empty fruit bunch (EFB) ash works as the alkaline source for the alkaline pulping. The binderless molded pulp then formed with the help of hot press. The thermoset properties of the lignin itself, give the possibility to produce molded pulp without any binder resin. Tensile index, tear index and burst index were determined experimentally to express the mechanical properties of the binderless molded pulp products. This experiment were done as an effort to utilize the biorenewable resource to make a packaging product that could be an alternative to the conventional one. The result indicate that cornstalk as raw material to produce molded pulp gives good mechanical properties compare to styrofoam packaging product. Molded pulp from cornstalk gives tensile index 17,5 – 34 Nm/g, tear index 10 – 26 mN.m²/g and burst index 0,89 – 1,52 kPa.m²/g. In generally, variation of temperature give dominant significant influence to mechanical properties of molded pulp.

Keywords: Binderless; Cornstalk; EFB Ash; Packaging; Molded Pulp

Abstrak

Kebutuhan bahan kemasan terus meningkat seiring dengan berkembangnya industri di seluruh dunia. Styrofoam sebagai bahan kemasan konvensional, terus dicari penggantinya karena sifat tidak terurai dan menipisnya bahan bakar fosil sebagai bahan baku. Batang jagung sebagai biomassa limbah memiliki jumlah yang berlimpah. Meskipun telah diketahui kualitas batang jagung sebagai bahan baku pulp yang baik, batang jagung belum dimanfaatkan dengan baik. Pulp cetak merupakan bahan kemasan alternatif yang memiliki sifat dapat terurai dan terbarukan. Batang jagung sebagai biomassa limbah memiliki jumlah yang melimpah. Batang jagung dimasak dengan larutan abu TKS, kemudian di blender sebagai perlakuan mekanis. Pulp cetak kemudian dicetak dengan *hot press*. Karakteristik *thermoset* dari lignin memungkinkan pembuatan pulp cetak tanpa menggunakan aditif perekat. *Tensile index*, *tear index* dan *burst index* menggambarkan karakteristik mekanis dari produk pulp cetak. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk mengolah sumberdaya terbarukan untuk menciptakan produk kemasan alternatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batang jagung sebagai bahan baku memberikan karakteristik mekanis yang baik dibanding *styrofoam*. Pulp cetak dari batang jagung memiliki *tensile index* sebesar 17,5 – 34 Nm/g, *tear index* sebesar 10 – 26 mN.m²/g dan *burst index* sebesar 0,89 – 1,52 kPa.m²/g. secara umum, variasi temperatur memberikan pengaruh yang dominan terhadap karakteristik mekanis dari pulp cetak.

Kata kunci: Batang jagung, Abu TKS, Kemasan, Pulp Cetak, Tanpa Perekat,

1 Pendahuluan

Kemasan mempunyai peranan penting untuk menunjang operasional suatu industri manufaktur maupun industri jasa. Pasar kemasan global pada tahun 2009 mencapai nilai \$563 milyar, mengalami peningkatan sebesar 51% dari \$372 milyar pada tahun 1999 [WPO, 2010]. Salah satu produk kemasan yang paling banyak digunakan pada saat ini adalah *styrofoam*. *Styrofoam* atau *expanded polystyrene* (EPS) merupakan bahan kemasan turunan petroleum, yang berbahan dasar polimer *polystyrene*. *Styrofoam* ini sangat tidak ramah lingkungan karena tidak terurai, dan juga gas

Chlorofluorocarbon (CFC) yang digunakan sebagai bahan peniup pada pembuatan *styrofoam* baru bisa terurai sekitar 65-130 tahun. Gas ini akan melayang di udara mencapai lapisan ozon di atmosfer dan akan mengikis lapisan pelindung bumi [Sulchan, 2007].

Molded pulp (pulp cetak) merupakan salah satu bahan kemasan alternatif yang memiliki kualitas kemas yang baik, serta ramah lingkungan. Inovasi diupayakan karena dunia perindustrian mulai didesak untuk mencari dan menggunakan bahan baku dari serat yang berasal dari bahan *non-kayu* [Ahmadi dkk. 2010]. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa *pulp* cetak dapat dihasilkan dengan bahan baku *non-kayu*, seperti kertas

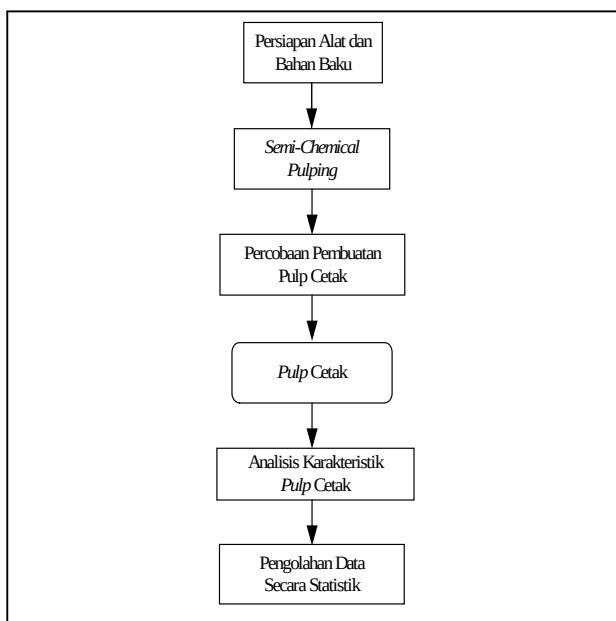
bekas [Gurav dkk. 2003], ampas tebu [Sridach dkk. 2008], pelepah sawit [Hunsa-Udom, 2008], hingga batang jagung [Jaroenpanyaprat, 2011].

Hasil penelitian membuktikan bahwa pulp non kayu dapat dibuat menjadi pulp cetak. Produk pulp cetak berbahan baku ampas tebu menghasilkan karakteristik mekanis terbaik dengan nilai *maximum force* sebesar 585 N serta *puncture force* sebesar 70 N/mm² pada penambahan aditif *polyvinyl alcohol* sebesar 70% [Sridach dkk. 2008]. Produk pulp cetak berbahan baku pelepah sawit menghasilkan karakteristik mekanis terbaik dengan nilai *tensile index* sebesar 61,05 Nm/g, *tear index* sebesar 0,0127 Nm²/g, serta *burst index* sebesar 4180 Pa-m/g pada penambahan perekat pati kation sebesar 1,4% dan *akyl ketene dimer* sebesar 0,5% [Hunsa-Udom, 2008].

Kajian pembuatan produk berbasis lignoselulosa tanpa menggunakan perekat telah dilakukan seperti pada pembuatan *particleboards* tanpa perekat dari batang sawit [Hashim dkk. 2010]. Lignin mulai memperlihatkan kemampuannya sebagai resin pengikat pada suhu diatas 140°C pada bahan baku serabut kelapa [van Dam dkk. 2004]. Hemiselulosa dan lignin terdekomposisi selama proses pengepressan. Reaksi kondensasi lignin berkontribusi dalam mekanisme *self-bonding* dan cenderung semakin menurun seiring dengan meningkatnya suhu dan tekanan. Sehingga proses pembuatan produk berbasis selulosa dapat dilakukan tanpa penambahan aditif perekat [Okuda dkk. 2006].

2 Metode Penelitian

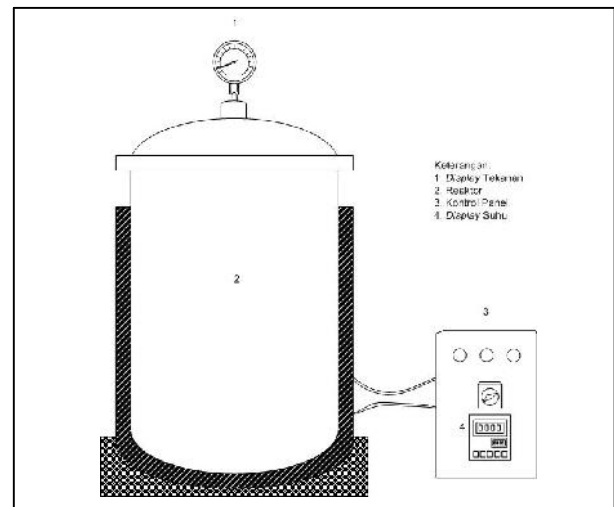
Penyusunan metode penelitian dilakukan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian yang dilakukan. Metode ini berisikan cara pelaksanaan penelitian mulai dari persiapan alat dan bahan baku, pembuatan pulp, percobaan *molding pulp*, analisa pulp cetak hingga penarikan kesimpulan. Metode penelitian digambarkan dalam bentuk diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Percobaan *Molding Pulp*

2.1 Persiapan Alat dan Bahan Baku

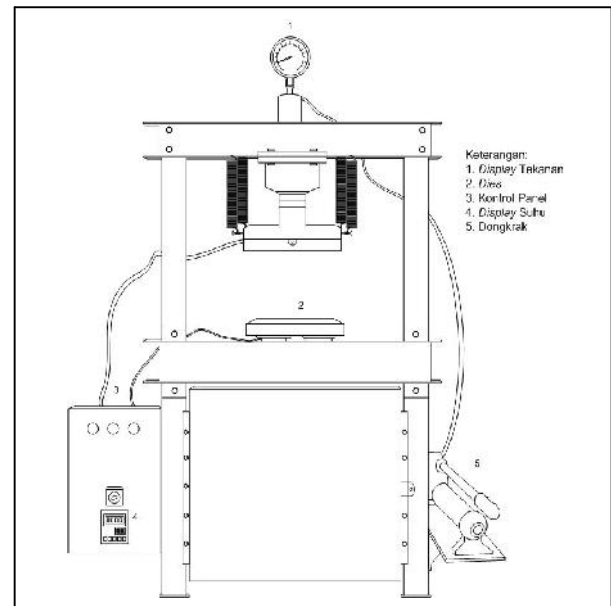
Rangkaian alat percobaan pembuatan pulp semi kimia dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 2. Pulp Digester

Digester merupakan alat utama pada proses pembuburan (*pulping*) sebagai tempat terjadinya fraksionasi biomassa bahan baku terhadap unsur penyusunnya. *Digester* dilengkapi dengan kontrol suhu dan tekanan untuk menjaga kondisi operasi sesuai dengan yang diinginkan. Larutan abu TKS sebagai pelarut alkali aktif dicampur dengan bahan baku batang jagung didalam *digester* untuk kemudian proses *digesting* dilangsungkan.

Rangkaian alat percobaan pembuatan pulp cetak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pulp Molder Press

Rangkaian alat tersebut berfungsi sebagai pencetak pada percobaan *molding pulp*. Rangkaian ini dilengkapi dengan sistem *hidraulic* yang memungkinkan

seluruh sampel yang akan dicetak mendapatkan tekanan yang seragam, serta dilengkapi dengan elemen pemanas yang memungkinkan untuk variasi suhu.

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah batang jagung. Batang jagung dipotong-potong dengan panjang $\pm 4\text{cm}$ dan dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kadar air pada batang jagung di bawah 10%. Untuk mengetahui kadar air pada batang jagung dilakukan proses pengeringan menggunakan oven dengan suhu 105°C .

2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap pada penelitian ini adalah semua kondisi proses pada proses pulping semi kimia karena pulp dianggap sebagai produk intermediate dan bukan sebagai hasil akhir yang ingin dipelajari. Variabel tetap ini meliputi nisbah larutan padatan (10:1), waktu (75 menit), dan suhu pemasakan (120°C). Variabel tetap ini ditentukan berdasarkan kondisi optimum pada penelitian Sridach [2008].

Pemilihan variabel berubah pada proses yang akan dipelajari pada penelitian ini dilakukan pada kondisi :

1. Variasi suhu molding yang ditinjau antara 140°C hingga 180°C dengan rentang suhu 20°C .
2. Variasi tekanan molding yang ditinjau antara 4 bar hingga 8 bar dengan rentang tekanan 2 bar.
3. Variasi waktu molding yang ditinjau antara 1 menit hingga 3 menit. dengan rentang waktu 1 menit.

2.3 Rancangan Percobaan

Jumlah tempuhan untuk rancangan percobaan dengan metode RSM terdiri dari *fractional factorial design*, *star point* dan *central point*. Rancangan percobaan *fractional factorial design* didapat dari 2^n faktorial, dimana n merupakan jumlah variabel. Pada percobaan ini terdapat 3 variabel proses (variasi suhu *molding*, variasi tekanan *molding*, variasi waktu *molding*), sehingga didapat *factorial design* (F) berjumlah 8 titik. *Star point* memberikan batasan level yang digunakan untuk tiap variabelnya. Batasan level untuk tiap variabel dinyatakan dengan $\alpha = 2^{n/4}$, 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, rentang variabel proses dikodekan kedalam rentang (-1, 0, 1). Sehingga hubungan antara variabel proses (ξ_i) dan *coded variables* (X_i) dapat dinyatakan seperti persamaan berikut :

$$X_i = \frac{\xi_i - \xi_i \text{ mid.}}{\xi_i \text{ mid.} - \xi_i \text{ low}}$$

dimana,

$$\xi_i \text{ mid.} = (\xi_i \text{ high} - \xi_i \text{ low})/2.$$

Variabel berubah ditentukan berdasarkan metoda yang dilakukan oleh Hashim dkk[2010]. Jumlah tempuhan untuk rancangan percobaan *response surface methods* dapat dilihat pada Tabel 3.1.

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	160	6	2	0	0	0
10	160	6	2	0	0	0
11	160	6	2	0	0	0
12	160	6	2	0	0	0
13	160	6	2	0	0	0
14	160	6	2	0	0	0
15	126,36	6	2	-1.682	0	0
16	193,64	6	2	1.682	0	0
17	160	2,632	2	0	-1.682	0
18	160	9,364	2	0	1.682	0
19	160	6	0,318	0	0	-1.682
20	160	6	3,682	0	0	1.682

2.4 Preparasi Pulp (Semi-Chemical Pulping)

Percobaan pembuatan pulp cetak non-kayu tanpa aditif perekat memerlukan pulp sebagai bahan baku. Pulp diperoleh dari hasil proses semi chemical pulping bahan baku batang jagung. Proses ini merujuk pada kondisi optimum penelitian yang dilakukan oleh Sridach dkk.[2008]. Dilakukan juga perlakuan refining yaitu pemblenderan selama 1 menit sebagai perlakuan mekanis pada proses.

2.5 Percobaan Molding Pulp

Pelaksanaan percobaan molding pulp batang jagung dilakukan dengan merujuk pada metoda yang telah dilakukan oleh Sridach dkk.[2008]. Pulp dituangkan ke dies untuk dicetak dengan dimensi sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian tekanan dan suhu akan diberikan oleh alat, diatur sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditentukan sebelumnya.

2.6 Analisis Produk Pulp Cetak

Pulp cetak yang dihasilkan dari percobaan dianalisis untuk mengetahui karakteristik, sifat fisik dan sifat mekanis pulp cetak non-kayu tanpa aditif perekat yang dihasilkan. Analisis karakteristik mekanis meliputi tensile index (TAPPI T 494), burst index (TAPPI T 807) dan tear index (TAPPI T 414).

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pulp Batang Jagung

Pemasakan batang jagung dilakukan secara semi kimia dengan menggunakan ekstrak abu TKS sebagai sumber alkali pelarut. Ekstrak abu TKS sebagai pelarut dalam penelitian ini memiliki pH sekitar 13. Pulp dihasilkan dengan menggunakan digester bertekanan dengan suhu sebesar 115°C selama 180 menit dalam tekanan 14,6 psig, nisbah larutan padatan 1:8, serta menggunakan ekstrak abu TKS 25%-b. Pulp batang jagung kemudian diblender sebagai perlakuan mekanis untuk menghaluskan serat.

Perolehan pulp batang jagung pada penelitian ini memiliki rata-rata sebesar 69% sesuai dengan yield pulp yang umumnya dihasilkan dengan proses semi kimia yaitu 50 - 80% [Biermann, 1996]. Pulp batang jagung yang dihasilkan memiliki tekstur terasa lembut ditangan meskipun masih terdapat sedikit pulp yang belum termasak sempurna. Perlakuan awal terhadap serat bahan baku, memiliki efek yang besar terhadap sifat produk yang akan dihasilkan [van Dam dkk., 2004].

3.2 Pulp Cetak Batang Jagung

Pulp dibentuk menjadi lembaran *sheet* sebelum dicetak agar gramatur tiap sampel terjaga dan mempermudah proses pencetakan. Gramatur pulp cetak yang diperoleh berkisar pada kisaran 320 gsm dengan toleransi kesalahan <10%. Gramatur menyatakan berat pulp untuk tiap satuan luas suatu produk pulp. Gramatur pulp diperlukan untuk perhitungan *tensile index*, *tear index*, dan *burst index*.



Gambar 4. Pulp cetak batang jagung tanpa perekat

Pulp cetak yang dihasilkan termasuk dalam kategori “*Thermoformed*” *molded pulp*, karena proses pencetakan berlangsung dengan memberikan perlakuan tekan dan panas secara bersamaan. Pembuatan pulp cetak dilakukan tanpa menggunakan aditif perekat, karena lignin pada pulp telah diketahui sebelumnya dapat berfungsi sebagai unsur pengikat termoset [van Dam, 2004]. Seperti yang terlihat pada Gambar 4, pulp cetak batang jagung yang dihasilkan memiliki permukaan yang relatif halus pada kedua sisinya, karena produk berbasis lignoselulosa yang dicetak dengan suhu tinggi akan menghasilkan produk dengan permukaan yang halus [Hashim dkk., 2011].

3.3 Sifat Mekanis Pulp Cetak Batang Jagung

Pengaruh kondisi operasi terhadap respon dipelajari dengan memodelkan data hasil percobaan ke persamaan polinomial kuadrat. Model polinomial kuadrat diuji tingkat kesesuaiannya dengan metode *Analysis Of Varian* (ANOVA) sebelum digunakan untuk mempelajari pengaruh kondisi operasi. Tabel 4.1 menampilkan hasil rangkuman dari nilai *p-value* ANOVA yang terlibat dalam model.

Tabel 2. Rangkuman nilai *p-value* ANOVA respon tensile, tear, dan *burst*.

Varian	Tensile (y_1)	Tear (y_2)	Burst (y_3)
Model	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
A	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
B	0.0002	< 0.0001	0.0013
C	< 0.0001	< 0.0001	0.0011
AB	0.1789	< 0.0001	0.2073
AC	0.7112	0.0007	0.0824
BC	0.4313	0.2682	0.7969
A ²	0.0676	< 0.0001	0.2196
B ²	0.2230	0.0165	0.1644
C ²	0.5760	< 0.0001	0.0561

Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa *p-value* model memiliki nilai <0,1 untuk keseluruhan respon. Nilai *p-value* < 0,1 mengindikasikan bahwa model memiliki pengaruh yang signifikan, sehingga model yang dihasilkan dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh kondisi operasi terhadap respon.

Tabel 3. Koefisien persamaan kuadrat model dengan nilai F_0 dan R^2 model

Varian	Tensile (y_1)	Tear (y_2)	Burst (y_3)
β_0	24,37	13,77	1,050
β_1	3,95	-2,46	0,114
β_2	1,61	-3,14	0,078
β_3	2,52	-3,13	0,080
β_4	0,69	2,26	-0,037
β_5	0,19	-1,43	0,052
β_6	-0,40	0,43	0,007
β_7	0,70	1,36	0,027
β_8	0,46	0,71	0,031
β_9	-0,21	1,33	0,043
F_0	19,70	45,02	7,10
R^2	0,8594	0,9332	0,6878

Tabel 3.1 memperlihatkan data koefisien persamaan kuadrat dengan nilai F hitung dan R square untuk respon *tensile index*, *tear index*, dan *burst index*. Dari koefisien-koefisien model, diketahui seberapa besar pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Variasi suhu pada rentang percobaan menghasilkan pengaruh yang lebih besar jika dibandingkan dengan

variasi tekanan pada respon *tensile* (y_1), *tear* (y_2) dan *burst* (y_3).

3.3.1 Tensile Index

Analisis regresi dilakukan untuk membandingkan fungsi respon *tensile index* terhadap variabel percobaan. Kesesuaian persamaan model orde dua dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). ANOVA untuk respon *tensile* secara lengkap dapat dilihat pada lampiran I. Dengan nilai $\alpha = 0,01$ tabel analisis varian memperlihatkan *p-value* model $< 0,01$ yang menjelaskan bahwa model kuadratik untuk respon *tensile* dapat digunakan karena variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon *tensile*.

Nilai koefisien regresi R^2 sebesar 0,8594 menyatakan bahwa 85,94% hubungan antara ragam respon pada model dapat digambarkan kedalam persamaan orde dua. Hubungan antara respon dan variabel pada sistem digambarkan dalam persamaan (1) berikut:

$$y_1 = 24,37 + 3,95x_1 + 1,61x_2 + 2,52x_3 + 0,69x_1x_2 + 0,19x_1x_3 - 0,4x_2x_3 + 0,7x_1^2 + 0,46x_2^2 - 0,21x_3^2 \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- y_1 = *Tensile Index* (Nm/g)
- x_1 = Suhu Press ($^{\circ}\text{C}$)
- x_2 = Tekanan Press (Bar)
- x_3 = Waktu Press (Menit)

Dari koefisien-koefisien persamaan (1), dapat diketahui bahwa suhu memberikan pengaruh yang paling signifikan, diikuti dengan waktu dan tekanan. Pengaruh suhu dan waktu terhadap *tensile index* pulp cetak batang jagung adalah seiring dengan meningkatnya suhu dan waktu, *tensile index* pulp cetak akan meningkat. ANOVA untuk respon *tensile* secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rangkuman *Analysis of Variance* respon *tensile*

Sumber Variasi	Sum Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Regresi	701,77	9	77,97	19,70
Error	114,78	29	3,96	
Total	816,69	39		

Pengaruh variabel pada model memiliki nilai *mean square* sebesar 77,97 jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *error mean square* yaitu 3,96. Perbedaan yang jauh ini menandakan bahwa pengaruh antara variabel beragam. Kemudian dapat dihitung rasio F, $F_o = 77,97/3,96 = 19,70$. Nilai F_o dibandingkan dengan nilai $F_{\alpha,9,29}$ pada tabel dengan nilai sebaran F pada $F_{0,01,9,29}$ adalah 3,09. Dengan nilai F_o yang lebih besar dibandingkan F tabel, membuktikan bahwa terdapatnya kesesuaian model yang diperoleh terhadap variabel bebas berupa suhu press (x_1), tekanan press (x_2), dan waktu press (x_3).

3.3.2 Tear Index

Analisis regresi dilakukan untuk membandingkan fungsi respon *tear index* terhadap variabel percobaan. Kesesuaian persamaan model orde dua dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). ANOVA untuk respon *tear* secara lengkap dapat dilihat pada lampiran J. Dengan nilai $\alpha = 0,01$ tabel analisis varian memperlihatkan *p-value* model $< 0,01$ yang menjelaskan bahwa model kuadratik untuk respon *tear* dapat digunakan karena variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon *tear*.

Nilai koefisien regresi R^2 sebesar 0,9332 menyatakan bahwa sebesar 93,32% hubungan antara ragam respon pada model dapat digambarkan kedalam persamaan orde dua. Hubungan antara respon dan variabel pada sistem digambarkan dalam persamaan orde dua seperti yang terlihat pada persamaan (2) berikut:

$$y_2 = 13,77 - 2,46x_1 - 3,14x_2 - 3,13x_3 + 2,26x_1x_2 - 1,43x_1x_3 + 0,43x_2x_3 + 1,36x_1^2 + 0,71x_2^2 + 1,33x_3^2 \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- y_2 = *Tear Index* (mN.m²/g)
- x_1 = Suhu Press ($^{\circ}\text{C}$)
- x_2 = Tekanan Press (Bar)
- x_3 = Waktu Press (Menit)

Dari koefisien-koefisien persamaan 2, dapat diketahui bahwa tekanan dan waktu memberikan pengaruh yang paling signifikan, kemudian diikuti dengan suhu. Pengaruh tekanan dan waktu terhadap *tear index* pulp cetak batang jagung adalah seiring dengan menurunnya tekanan dan waktu, *tear index* pulp cetak akan meningkat. ANOVA untuk respon *tear* secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rangkuman *Analysis of Variance* respon *tear*

Sumber Variasi	Sum Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Regresi	919,99	9	102,22	45,02
Error	65,85	29	2,27	
Total	986,67	39		

Pengaruh variabel pada model memiliki nilai *mean square* sebesar 102,22 jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *error mean square* yaitu 2,27. Perbedaan yang jauh ini menandakan bahwa pengaruh antara variabel beragam. Kemudian dapat dihitung rasio F, $F_o = 102,22/2,27 = 45,02$. Nilai F_o dibandingkan dengan nilai $F_{\alpha,9,29}$ pada tabel dengan nilai sebaran F pada $F_{0,01,9,29}$ adalah 3,09. Dengan nilai F_o yang lebih besar dibandingkan F tabel, membuktikan bahwa terdapatnya kesesuaian model yang diperoleh terhadap variabel bebas berupa suhu press (x_1), tekanan press (x_2), dan waktu press (x_3).

3.3.3 Burst Index

Analisis regresi dilakukan untuk membandingkan fungsi respon *burst index* terhadap variabel percobaan. Kesesuaian persamaan model orde dua dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). ANOVA untuk respon *burst* secara lengkap dapat dilihat pada lampiran K. Dengan nilai $\alpha = 0,01$ tabel analisis varian memperlihatkan *p-value* model $< 0,01$ yang menjelaskan bahwa model kuadratik untuk respon *burst* dapat digunakan karena variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon *burst*.

Nilai koefisien regresi R^2 sebesar 0,6878 menyatakan bahwa sebesar 68,78% hubungan antara ragam respon pada model dapat digambarkan kedalam persamaan orde dua. Hubungan antara respon dan variabel pada sistem digambarkan dalam persamaan (3) berikut:

$$y_3 = 1,05 + 0,11x_1 + 0,078x_2 + 0,08x_3 - 0,037x_1x_2 + 0,052x_1x_3 + 0,0075x_2x_3 + 0,027x_1^2 + 0,031x_2^2 + 0,043x_3^2 \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

$$\begin{aligned} y_3 &= \text{Burst Index (kPa.m}^2\text{/g)} \\ x_1 &= \text{Suhu Press (}^\circ\text{C)} \\ x_2 &= \text{Tekanan Press (Bar)} \\ x_3 &= \text{Waktu Press (Menit)} \end{aligned}$$

Dari koefisien-koefisien persamaan (3), dapat diketahui bahwa suhu memberikan pengaruh yang paling besar terhadap *burst index* pulp cetak batang jagung, sedangkan tekanan dan waktu memberikan pengaruh yang sebanding. Pengaruh suhu dan tekanan terhadap *burst index* pulp cetak batang jagung adalah seiring dengan meningkatnya suhu dan tekanan, *burst index* pulp cetak akan meningkat. ANOVA untuk respon *burst* secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rangkuman *Analysis of Variance* respon *burst*

Sumber Variasi	Sum Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Regresi	0,85	9	0,094	7,10
Error	0,39	29	0,013	
Total	1,24	39		

Pengaruh variabel pada model memiliki nilai *mean square* sebesar 0,094 jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *error mean square* yaitu 0,013. Perbedaan yang jauh ini menandakan bahwa pengaruh antara variabel beragam. Kemudian dapat dihitung rasio F, $F_o = 0,094/0,024 = 7,20$. Nilai F_o dibandingkan dengan nilai $F_{\alpha,9,29}$ pada tabel dengan nilai sebaran F pada $F_{0,01,9,29}$ adalah 3,09. Dengan nilai F_o yang lebih besar dibandingkan F tabel, membuktikan bahwa terdapatnya kesesuaian model yang diperoleh terhadap variabel bebas berupa suhu *press* (x_1), tekanan *press* (x_2), dan waktu *press* (x_3).

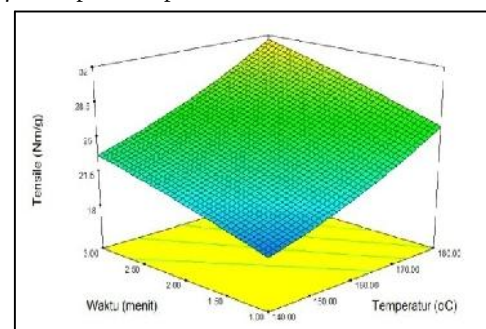
3.4 Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Karakteristik Mekanis Pulp Cetak

Variabel bebas atau variabel berubah memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis pulp cetak yang dihasilkan. Variabel bebas berpengaruh terhadap sifat mekanis pulp cetak karena terjadinya autohidrolisis dari konstituen polimer dinding sel dalam serat lignoselulosa oleh uap panas, polisakarida hemiselulosa yang terdegradasi dalam suhu tinggi dan membentuk furfural, serta lignin meleleh dalam depolimerisasi tak terkontrol dan teratur kembali dengan reaksi kondensasi [van Dam dkk., 2004]. Respon sifat mekanis pulp cetak terhadap variabel berubah akan dibahas sebagai berikut.

3.4.1 Pengaruh Kondisi Proses Terhadap *Tensile Index*

Tensile index yang diperoleh bervariasi berdasarkan kondisi percobaan dengan rata-rata sebesar 25,02 Nm/g. Nilai *tensile index* rata-rata yang diperoleh masih dibawah dari perolehan rata-rata nilai *tensile index* pada penelitian pulp cetak batang jagung Jaroenpanyaprat [2010] yaitu 58 Nm/g. Selain perbedaan jenis pelarut pada proses *pulping*, ketiadaan aditif perekat pada penelitian ini merupakan salah satu faktor penyebab perbedaan perolehan nilai *tensile* dengan penelitian Jaroenpanyaprat [2010]. Penggunaan aditif perekat pada pulp cetak dapat menyebabkan peningkatan pada derajat kekuatan internal ikatan serat [Hunsu-Udom, 2008].

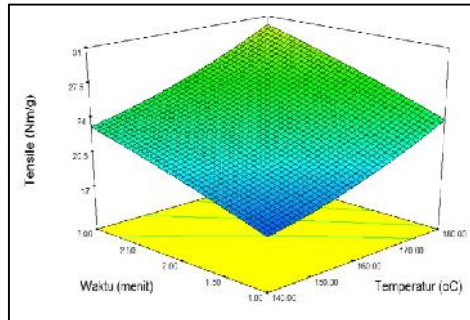
Nilai *tensile index* tertinggi didapat pada waktu *press* 3 menit dengan suhu 180°C dan tekanan 8 bar yaitu 35,68 Nm/g. Sedangkan nilai *tensile index* terendah didapat pada waktu *press* 20 detik dengan suhu 160°C dan tekanan 6 bar yaitu 15,89 Nm/g. *Tensile index* terendah diperoleh karena dengan waktu *press* selama 20 detik, lignin yang telah mengalami depolimerisasi tidak memiliki cukup waktu untuk tersusun secara teratur kembali seiring dengan reaksi kondensasinya. Selanjutnya grafik 3D *surface* akan memperlihatkan hubungan antara variabel x_1 dan x_3 dengan x_2 sebagai *actual factor* pada respon *tensile index*.



Gambar 5. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 6 bar terhadap *tensile index* produk.

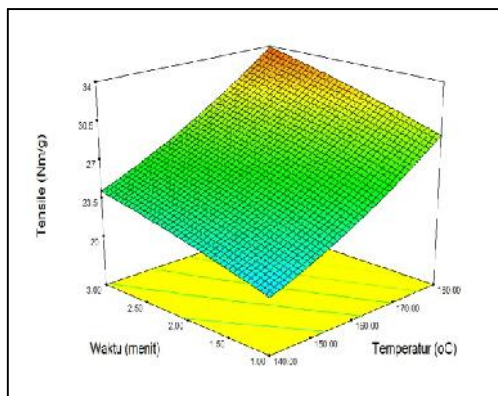
Gambar 5 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *tensile index* produk pada tekanan 6 bar. Respon *tensile* cenderung meningkat seiring dengan

meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Nilai *tensile* terbesar pada x_2 sebesar 6 bar diperoleh pada *press* dengan temperatur 180°C selama 3 menit. Sedangkan nilai *tensile* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit.



Gambar 6. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 4 bar terhadap *tensile index* produk.

Gambar 6 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *tensile index* produk pada tekanan 4 bar. Respon *tensile* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 4 bar, nilai *tensile* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Sedangkan nilai *tensile* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit. Dalam rentang temperatur dan waktu yang sama, *tensile* pada tekanan 4 bar lebih rendah dari pada *tensile* pada tekanan 6 bar.



Gambar 7. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 8 bar terhadap *tensile index* produk.

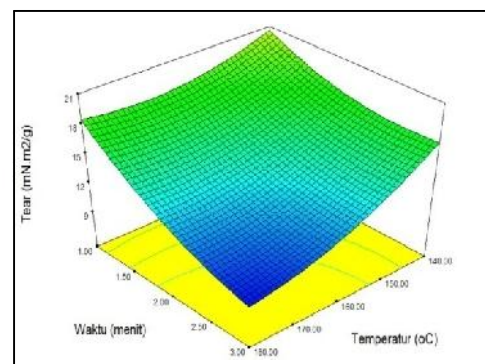
Gambar 7 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *tensile index* produk pada tekanan 8 bar. *Tensile* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 8 bar, nilai *tensile* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Sedangkan nilai *tensile* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit. Dalam rentang temperatur dan

waktu yang sama, *tensile* pada tekanan 8 bar lebih tinggi dari pada respon pada tekanan 4 bar maupun 6 bar.

3.4.2 Pengaruh Kondisi Proses Terhadap *Tear Index*

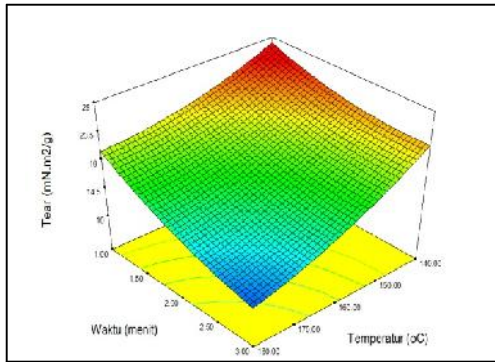
Tear index yang diperoleh bervariasi berdasarkan kondisi percobaan dengan rata-rata sebesar 16,09 mN.m²/g. Nilai *tear index* rata-rata yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai *tear index* rata-rata pada penelitian pulp cetak pelepah sawit Hunsu-Udom [2008] yaitu 10,67 mN.m²/g. Nilai *tear index* rata-rata yang diperoleh pada penelitian ini juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai *tear index* rata-rata pada penelitian pulp cetak batang jagung Jaroenpanyaprat [2010] yaitu 5,7 mN.m²/g. Kemampuan pulp cetak pada penelitian ini untuk meneruskan suatu sobekan lebih rendah jika dibandingkan dengan pulp cetak pada penelitian Hunsu-Udom [2008] dan Jaroenpanyaprat [2010].

Nilai *tear index* tertinggi didapat pada waktu *press* 1 menit dengan suhu 140°C dan tekanan 4 bar 26,09 mN.m²/g. Sedangkan nilai *tear index* terendah didapat pada waktu *press* 3 menit dengan suhu 180°C dan tekanan 8 bar yaitu 9,25 mN.m²/g. Kecenderungan penurunan nilai *tear index* pada pulp cetak pada rentang atas kondisi proses karena pada kondisi tersebut terjadinya autohidrolisis dari konstituen polimer dinding sel dalam serat lignoselulosa oleh uap panas yang terbentuk [van Dam dkk., 2004]. Sehingga pulp cetak yang dihasilkan akan lebih mudah meneruskan sobek jika dibandingkan dengan pulp cetak yang dihasilkan pada rentang bawah kondisi proses. Selanjutnya grafik 3D *surface* akan memperlihatkan hubungan antara variabel x_1 dan x_3 dengan x_2 sebagai *actual factor* pada respon *tear index*.



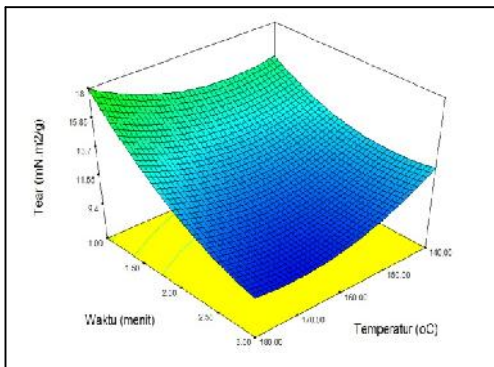
Gambar 8. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 6 bar terhadap *tear index* produk.

Gambar 8 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *tear index* produk pada tekanan 6 bar. Respon *tear* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 6 bar, nilai *tear* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit. Sedangkan nilai *tear* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit.



Gambar 9. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 4 bar terhadap *tear index* produk.

Gambar 9 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *tear index* produk pada tekanan 4 bar. Respon *tear* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 4 bar, nilai *tear* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit. Sedangkan nilai *tear* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Respon *tear* pada tekanan 4 bar lebih tinggi dari pada respon pada tekanan 6 bar.



Gambar 10. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 8 bar terhadap *tear index* produk.

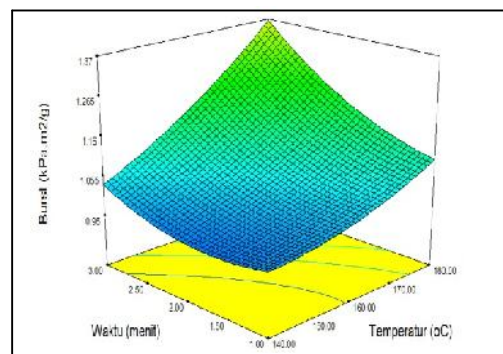
Gambar 10 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *tear index* produk pada tekanan 8 bar. Respon *tear* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 8 bar, nilai *tear* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 1 menit. Sedangkan nilai *tear* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Respon *tear* pada tekanan 8 bar lebih rendah dari pada respon pada tekanan 4 bar maupun 6 bar.

3.4.3 Pengaruh Kondisi Proses Terhadap *Burst Index*

Burst index yang diperoleh bervariasi berdasarkan kondisi percobaan dengan rata-rata sebesar 1,12 kPa.m²/g. Nilai *burst index* rata-rata yang diperoleh masih dibawah dari perolehan rata-rata nilai *burst index* pada penelitian pulp cetak batang jagung

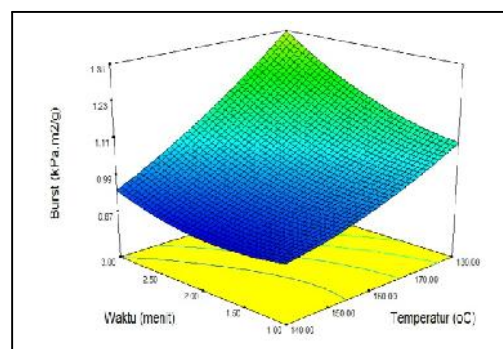
Jaroenpanyaprat [2010] yaitu 4,7 kPa.m²/g. Meskipun rentang suhu pencetakan pada penelitian ini berada diatas suhu pencetakan penelitian Jaroenpanyaprat [2010], akan tetapi upaya ini tidak dapat menanggulangi ketiadaan aditif perekat pada penelitian ini merupakan sehingga terdapat perbedaan perolehan nilai *burst* dengan penelitian Jaroenpanyaprat [2010].

Nilai *burst index* tertinggi didapat pada waktu *press* 3 menit dengan suhu 180°C dan tekanan 4 bar yaitu 1,51 kPa.m²/g. Sedangkan nilai *burst index* terendah didapat pada waktu *press* 2 menit dengan suhu 160°C dan tekanan 2,64 bar yaitu 0,87 kPa.m²/g. Nilai *burst* tertinggi tercapai karena lignin dengan perilaku lelehnya yang berlanjut dengan reaksi ikat silang pada suhu tinggi memperlihatkan fungsinya sebagai perekat termoset yang baik [van Dam dkk., 2004]. Lignin pada pulp batang jagung membentuk matriks termoset yang koheren dan akan mengikat serat pada saat proses berlangsung yang menyebabkan peningkatan nilai *burst* pada suhu pencetakan 180°C selama 3 menit.



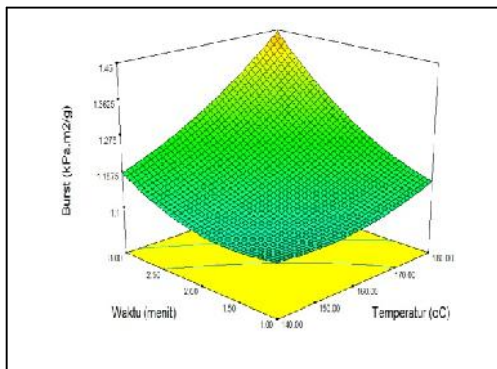
Gambar 11. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 6 bar terhadap *burst index* produk.

Gambar 11 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *burst index* produk pada tekanan 6 bar. Respon *burst* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 6 bar, nilai *burst* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Sedangkan nilai *burst* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit.



Gambar 12. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 4 bar terhadap *burst index* produk.

Gambar 12 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *burst index* produk pada tekanan 4 bar. Respon *burst* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 4 bar, nilai *burst* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Sedangkan nilai *burst* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit. Respon *burst* pada tekanan 4 bar lebih rendah dari pada respon pada tekanan 6 bar.



Gambar 13. Plot 3D RSM pengaruh temperatur dan waktu *press* pada tekanan 8 bar terhadap *burst index* produk.

Gambar 4.10 memperlihatkan pengaruh waktu dan temperatur terhadap *burst index* produk pada tekanan 8 bar. Respon *burst* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya besar temperatur maupun lama waktu *press* dalam rentang yang diberlakukan. Pada tekanan 8 bar, nilai *burst* terbesar diperoleh dengan *press* pada temperatur 180°C selama 3 menit. Sedangkan nilai *burst* terkecil diperoleh dengan *press* pada temperatur 140°C selama 1 menit.

4 Kesimpulan

1. Secara umum dalam rentang yang di berlakukan, semakin lama waktu, suhu dan tekanan pada *press molding* maka akan meningkatkan karakteristik mekanis *tensile* dan *burst*. Semakin lama waktu, suhu dan tekanan pada *press molding* akan menurunkan karakteristik mekanis *tear*.

2. Secara umum, variasi suhu memberikan pengaruh terbesar terhadap karakteristik mekanis pulp cetak batang jagung.

3. Karakteristik mekanis dari pulp batang jagung tanpa aditif perekat yang diperoleh memperkuat pernyataan Jaroenpanyaprat bahwa untuk mendapatkan karakteristik fisik dan mekanis pulp cetak yang ideal, penambahan zat aditif perekat sebenarnya tidak begitu diperlukan [Jaroenpanyaprat, 2011].

Daftar Pustaka

Ahmadi M., Latibari A.J., Faezipour M. 2010. *Neutral sulfite semi-chemical pulping of rapeseed residue*. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 34: 11-16.

- Bierman C.J. 1996. **Handbook of Pulping and Papermaking**, 2nd ed., USA, Academic Press.
- Gurav S.P., Bereznitski A., Heidweiller A., 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., Hiziroglu S., 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.
- Hoffman J. 2000. *Compression and Cushioning Characteristics of Moulded Pulp Packaging*. **Journal of Packaging Technology and Science**, 13: 211-220.
- Hunsa-Udom R., 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.
- Jaroenpanyaprat W. 2011. *Cornstalk as an alternative fiber source for molded pulp*. Pulp and paper technology program, Faculty of Science, Chulalongkorn University, THAILAND [http://www2.graduate.su.ac.th/proceedings/inter_01/inter/03_Weerayuth.pdf] diakses pada 02.30, 19 Juni 2012.
- Montgomery, D.C. 1991. **Design And Analysis of Experiments**, 3rd ed., USA, John Wiley & Sons.
- Muthuvelayudham, R. and Viruthagiri, T. 2010. Application of Central Composite Design Based Response Surface Methodology in Parameter Optimization and on Cellulase Production Using Agricultural Waste. **International Journal of Chemical and Biological Engineering** 3:2.
- 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.
- Sridach W., Wungmuang R., Boonlerd S. 2007. *Moulded pulp packaging from bagasse*. **Proceeding in 9th Agro-Industrial Conference (Food Innovation Asia 2007)**; 14 - 15 June 2007. Bangkok, Thailand. [http://iat.sut.ac.th/food/FIA2007/FIA2007/paper/P2-01-CP.pdf] diakses pada 17.35, 26 April 2012.
- Sulchan M., Nur E.W. 2007. *Keamanan Pangan Kemasan Plastik dan Styrofoam*. **Majalah Kedokteran Indonesia**, Volume: 57, Nomor: 2, Semarang, Indonesia.
- Van Dam J.E.G., Van den Oever M.J.A., Teunissen W., Keijsers E.R.P., Peralta A.G. 2004. *Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin*. **Industrial Crops and Products An International Journal**, 19: 207–216.