



## **Pengaruh Tekanan *Compression Moulding* terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit/Resin Epoksi Komposisi 20% Karbon Tempurung Kelapa**

Uswah Hasanah<sup>1\*</sup>, Muslimin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

---

### **Abstrak**

*Compression moulding atau yang sering dikenal sebagai teknik untuk membuat produk komposit yang bervariasi, merupakan metode dengan molding tertutup. Prinsip prosesnya adalah dengan menerapkan tekanan ke bagian cetakan (mold), lalu mesin mengendalikan panas dari heater agar dapat membentuk bahan sesuai dengan cetakan ketika ditekan. Dibutuhkan penelitian hasil dari desain compression molding yang bisa digunakan untuk industri rumahan atau UKM (Usaha Kecil Menengah). Pada penelitian dibuat bahan pelat bipolar komposit berkomposisi grafit sintetis 60%, carbon black tempurung kelapa 20% dengan perekat resin epoksi yang diberikan variasi penekanan sebesar 15 MPa, 18 MPa, 20 MPa pada temperatur 135°C menggunakan compression moulding selama 4 jam. Hasil Pengujian menunjukkan adanya pengaruh tekanan terhadap kinerja pelat bipolar komposisi 20% karbon tempurung kelapa. Terjadi peningkatan konduktivitas, densitas dan kuat lentur jika penekanan yang diberikan semakin tinggi. Namun, terjadi penurunan porositas apabila tekanan semakin tinggi.*

*Kata-kata kunci: Compression molding, pelat bipolar, komposit, tekanan, konduktivitas.*

### **Abstract**

*Compression molding or often known as a technique for making composite products that are varied, is a closed molding method. The principle of the process is to apply the pressure to the mold, then the machine connects the heat from the heater so that it can form a material that is compatible with the compilation mold reinforced. Research is needed as a result of the design of compression molding machines that can be used for home industries or SMEs. In this study composite bipolar plate material made with a composition of synthetic graphite weighing 60%, coconut shell carbon black 20% with epoxy resin adhesive was given a variation of the pressure 15 MPa, 18 MPa, 20 MPa at 135°C using compression molding for 4 hours. Test results show the effect of pressure on the performance of bipolar plates 20% coconut shell carbon. There is an increase in conductivity, density and flexural strength if the given pressure is higher. However, porosity decreases when the pressure is higher.*

*Keywords: Compression molding, bipolar plate, composite, pressure, conductivity.*

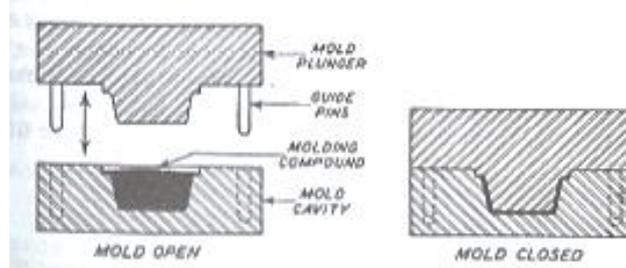
---

\* Corresponding author E-mail address: [uswahasanah9397@gmail.com](mailto:uswahasanah9397@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

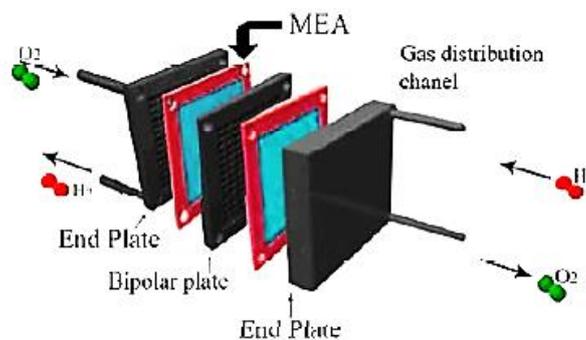
### Latar belakang

*Compression molding* merupakan teknik yang digunakan untuk membuat produk komposit dengan metode *molding* tertutup. Prinsipnya adalah menerapkan tekanan ke cetakan (*mold*), lalu mesin mengendalikan panas dari *heater* agar dapat membentuk bahan sesuai dengan cetakan permanen setelah ditekan. Proses tersebut umumnya digunakan di industri dengan jumlah produksi yang banyak dengan harga mesin yang mahal [1]. Hal tersebut membuat industri rumahan atau usaha kecil menengah (UKM) belum banyak menggunakan *compression moulding*. Dibutuhkan desain *Compression Molding* yang bisa digunakan untuk industri rumahan atau UKM untuk membuat pelat bipolar jenis komposit PEMFC.



Gambar 1. Proses Penutupan *Mold* [1]

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) adalah salah satu jenis fuel cell berbahan dasar polimer yang menjanjikan untuk dikembangkan. Pengembangan banyak dilakukan karena PEMFC dipandang memiliki banyak keunggulan, yaitu efisiensi dan kerapatan arus yang tinggi, temperatur aplikasi yang rendah, suplai bahan bakar yang baik dan umur pakai yang Panjang. namun, PEMFC harus dikaji ulang untuk menurunkan harganya yang mahal menjadi lebih murah [2].



Gambar 2. Struktur PEMFC

Komposisi PEMFC memiliki beberapa lapisan, yaitu pelat bipolar, *end plates*, *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dan *Gas Diffusion Layer (GDL)* [3]. Pelat bipolar berperan besar dalam PEMFC, karena memiliki 80% volume, 70% berat dan 60% biaya dari *fuel cell* [2]. PEMFC berpotensi dapat menjadi murah jika pelat bipolar memiliki penurunan pada volume, berat dan biaya produksi pelat bipolar. Penurunan volume bisa dilakukan dengan menggunakan penekanan, sedangkan berat dapat diturunkan dengan perubahan komposisi pelat bipolar.

Penelitian sebelumnya dengan menggunakan komposit berbahan grafit limbah *elektroda arc furnace*, *carbon black* serabut kelapa dan polimer epoksi dengan proses produksi *Compression Molding* bertekanan 300-450 MPa menunjukkan adanya pengaruh terhadap penekanan, semakin tinggi tekanan yang diberikan, maka komposit pelat bipolar memiliki konduktivitas, kekuatan lentur dan densitas yang semakin tinggi serta terjadi penurunan nilai porositas [4]. Penelitian selanjutnya, menunjukkan bahwa pelat bipolar stabil yang didapat dengan menggunakan komposit grafit, *carbon black filler* dan polimer *polypropilene* sebagai matriks dengan metode *molten hot press* tercapai pada komposisi berat karbon lebih dari 70% yaitu *carbon black* 20% dan grafit 50% [5].

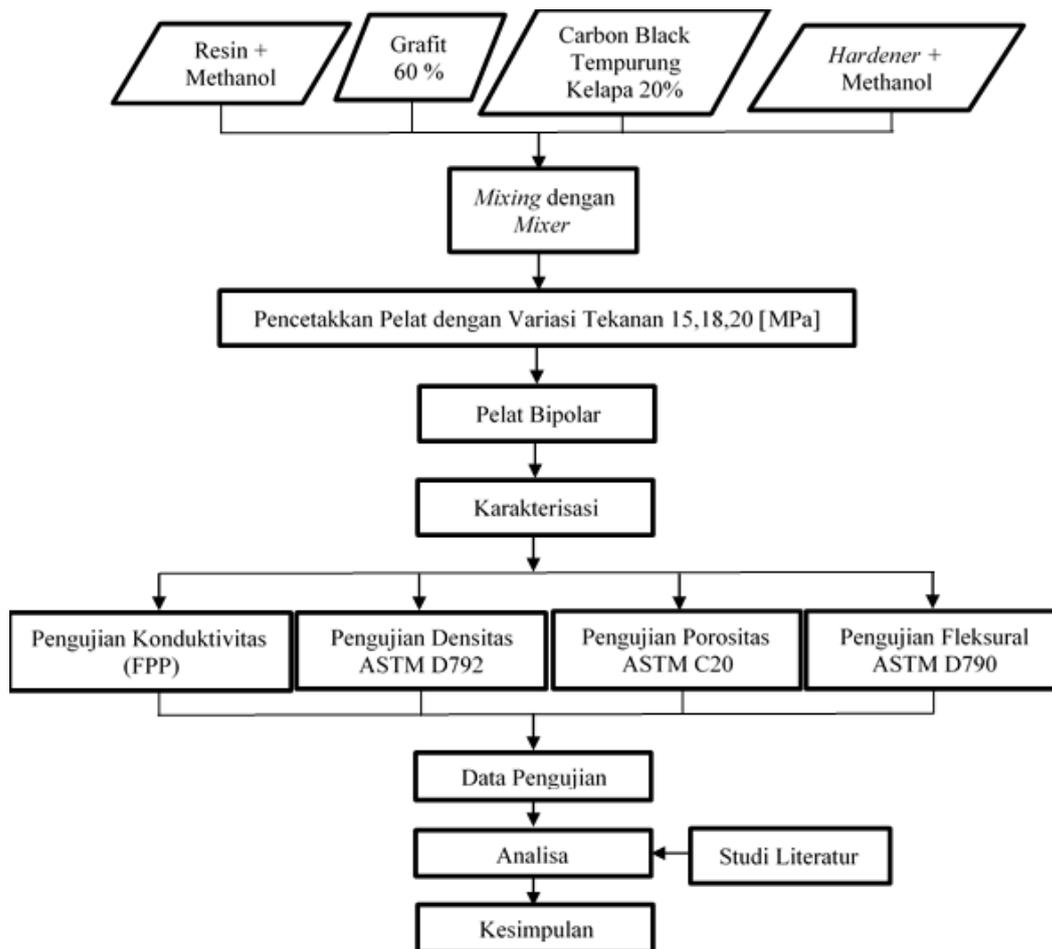
Pada penelitian dibuat bahan pelat bipolar dengan komposit grafit sintetis seberat 60%, *carbon black* tempurung kelapa 20% dengan perekat resin epoksi yang diberikan variasi penekanan 15-20 MPa, pada temperatur 135°C menggunakan *compression moulding* selama 4 jam.

### Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian adalah guna menemukan pengaruh tekanan terhadap kinerja pelat bipolar setelah melakukan proses press menggunakan mesin *compression moulding* dengan desain pasar UKM.

## 2. METODE

Metodologi penelitian sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Metodologi Penelitian

### Berat tiap komposisi dari komposit

Berat tiap komposisi dari komposit meliputi:

1. Volume *cavity mold* (volume awal) :  $12 \times 8 \times 1 = 96 \text{ cm}^3$
2. Massa grafit (60%) :  $\rho \times v = 1,5 \times 57,6 = 86,4 \text{ gram}$
3. Massa karbon tempurung kelapa (20%) :  $\rho \times v = 0,6 \times 19,2 = 11,52 \text{ gram}$
4. Massa epoksi :  $\rho \times v = 0,46 \times 19,2 = 8,832 \text{ gram}$

**Persiapan Alat dan Bahan**

**1. Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian sebagaimana pada tabel 1.

Tabel 1. Peralatan Penelitian

Preparasi Bahan	Pembuatan Pelat Bipolar	Karakterisasi Pelat Bipolar
1. Gunting, kikir, amplas 2. <i>Retort</i> 3. Oven 4. Mortar 5. Saringan Pasir	1. Timbangan Digital 2. Gelas Ukur 35 ml 3. <i>Beaker Glass</i> 100 dan 1000 ml 4. <i>Hot Plate</i> 5. <i>Mixer</i> 6. Mold 7. Mesin <i>Compression Moulding</i>	1. Gergaji 2. Mistar Sorong 3. Amplas 4. Timbangan Digital 5. Termometer 6. <i>Hot Plate</i> 7. Peralatan Pengujian Densitas dan Porositas 8. Kain Katun 9. Mesin <i>Four Point Probe Test</i> 10. <i>Universal Testing Machine</i>

**2. Bahan Karbon Tempurung Kelapa**

Proses pembuatan karbon sebagaimana pada gambar 4.



Gambar 4. Pembuatan karbon tempurung kelapa

Prosedur pembuatan karbon tempurung kelapa meliputi:

1. Pembersihan tempurung kelapa dari kotoran dan serabut,
2. Penjemuran tempurung kelapa menggunakan panas matahari selama 2 hari,
3. Setelah dijemur, tempurung kelapa dipotong menjadi kecil,
4. Pengerinan tempurung kelapa berikutnya di dalam *retort* menggunakan tungku dengan temperatur  $\pm 100^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam,
5. Tahap karbonisasi, yaitu tempurung kelapa yang sudah kering dipanaskan di dalam *retort* menggunakan tungku dengan temperatur  $\pm 500^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam,
6. Pendinginan selama 3 hari di dalam tungku,
7. Tahap penggerusan karbon yang sudah dingin menggunakan mortar menjadi serbuk.

### 3. Bahan Resin dan Hardener Epoksi

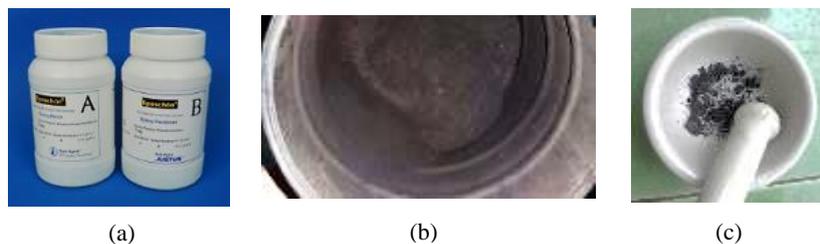
Resin epoksi pada komposisi berfungsi untuk mengikat bahan-bahan pengisi konduktif. Pada penelitian menggunakan resin epoksi (*Bhispenol A-epichlorohydrin*) dan *hardener* epoksi (*Polyaminoamide*) dengan kandungan resin dan *hardener* 1:1 dari 20% komposit.

### 4. Bahan Grafit

Pemilihan berdasar dari banyaknya limbah grafit dari proses pengecoran yang terbuang. Pada penelitian menggunakan grafit sintetis serbuk sebagai penguat konduktif pada komposit. Grafit sintetis memiliki nilai konduktivitas lebih tinggi dari grafit alami. Komposisi grafit yaitu 60% dari berat total komposit.

### Persiapan Campuran (Pencampuran komposisi)

Bahan-bahan komposit sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. Bahan Komposit: (a) Resin dan *Hardener* Epoksi, (b) Grafit Serbuk Sintetis, (c) Karbon Tempurung Kelapa

Prosedur pencampuran bahan komposit meliputi:

1. Pencampuran resin epoksi dengan metanol sebanyak 10% dari berat komposit pada *beaker glass*,
2. Pencampuran *hardener* epoksi dengan metanol sebanyak 10% dari berat komposit pada *beaker glass*,
3. Grafit dan karbon tempurung kelapa diaduk menggunakan *mixer* selama 3 menit pada *beaker glass*,
4. *Hardener* yang telah diencerkan dengan metanol dimasukkan dalam *beaker glass* yang telah terisi campuran karbon, kemudian diaduk menggunakan *mixer* selama 5 menit,
5. Pengadukan dilanjutkan di atas *hotplate* dengan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit.

### Proses Pencetakan

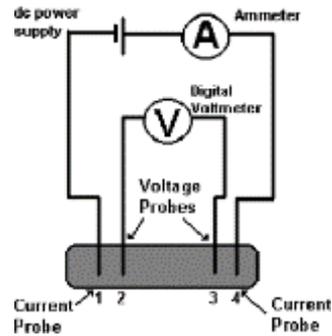
Prosedur pencetakan komposit meliputi:

1. Menggunakan *Compression Moulding* dengan ukuran *cavity mold*  $12\text{ cm} \times 8\text{ cm} \times 1$  di Politeknik Negeri Jakarta,
2. Tekanan 15 MPa sebanyak 2 kali, 18 MPa sebanyak 2 kali, 20 MPa sebanyak 2 kali,
3. Temperatur yang digunakan adalah  $\pm 135^{\circ}\text{C}$ ,
4. Tiap penekanan dilakukan selama 4 jam, dan
5. Pendinginan dilakukan dengan mendinginkan komposit dalam mold selama 12 jam.

### Pengujian konduktivitas

Prosedur pengujian konduktivitas meliputi:

1. Sebanyak 15 sampel (5 dari 15 MPa, 5 dari 18 MPa, 5 dari 20 MPa),
2. Menggunakan standar ASTM B 193 dengan metode *four point probe* dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta,
3. Ukuran tiap sampel adalah  $2 \times 2\text{ cm}^2$ , sampel diampelas sebelum nantinya diuji,
4. Menggunakan alat *power supply* dan multi meter,
5. Hubungkan 2 *wire power supply* DC dan 2 *wire* multimeter pada sampel, skema pada gambar 5,



Gambar 5. Skema Uji Konduktivitas Metode *four point probe* [4]

6. Nyalakan *power supply* agar terjadi pengaliran arus listrik,
7. Nilai resistivitas akan muncul pada *display* multimeter,
8. Kemudian konduktivitas dihitung menggunakan Rumus (1) [9].

$$\text{konduktivitas} = \frac{1}{\text{resistivitas}} \quad (1)$$

### Pengujian Densitas

Prosedur pengujian densitas meliputi:

1. 15 sampel dilakukan uji densitas dengan standar ASTM D792 (Hukum Archimedes), dilakukan di Laboratorium Mesin, Politeknik Negeri Jakarta dengan ukuran sampel  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ,
2. Sampel diampelas, kemudian ditimbang berat keringnya menggunakan timbangan digital sebagai (mk),
3. Sampel dicelupkan ke *beaker glass* yang berisi air,
4. Pencelupan dilakukan hingga sampel berada ditengah-tengah air tanpa menyentuh dasar gelas,
5. Lakukan perhitungan volume spesimen tergantung didalam air sebagai (mt) sebagaimana gambar 6.



Gambar 6. Volume Tergantung di Air

6. Hitung menggunakan Rumus (2) [7].

$$\text{Density} = \frac{mk}{mk - mt} \times \rho_{\text{air}} \quad (2)$$

### Pengujian Porositas

Prosedur pengujian porositas meliputi:

1. 15 sampel dilakukan uji porositas dengan standar ASTM C 20 dilakukan di Laboratorium Mesin, Politeknik Negeri Jakarta dengan ukuran sampel  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ,
2. Sampel dikeringkan dalam oven dengan temperatur  $105^\circ\text{C}$  selama 1 jam.
3. Ditimbang pada temperatur ruang sebagai *dry Weight* (D).
4. Sampel direbus dalam air dengan temperatur  $\pm 110^\circ\text{C}$  selama 1 jam diatas *hotplate* (sampel tidak boleh menyentuh lantai *beaker glass*) sebagaimana gambar 7,



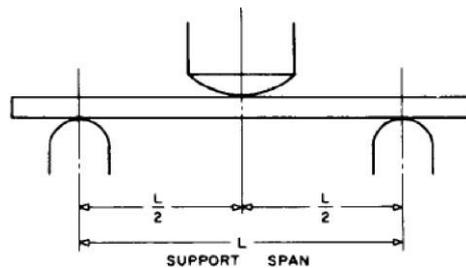
Gambar 7. Perebusan Sampel Uji Porositas

5. Sampel dilakukan pendinginan dalam air bekas rebusan selama 12 jam dengan temperatur ruang, ditimbang didalam sebagai berat volume gantung *suspended weight* (S).
6. Sampel diangkat dan dilap menggunakan kain katun.
7. Timbang sekali lagi pada temperatur ruang sebagai *saturated weight* (W).
8. Lalu hitung menggunakan Rumus (3) [8].

$$\%porositas = \frac{W-D}{W-S} \times 100\% \quad (3)$$

### Pengujian Lentur

Uji lentur dilaksanakan sebagaimana Gambar 8.



(a)



(b)

Gambar 8. Pengujian Kuat Lentur: (a) Skema *three point bending*, (b) *Universal Testing Machine*,

1. 15 sampel dilakukan uji lentur dengan standar ASTM D 790 [6] dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Kerja Khusus Pengembangan Las (PPKKPL), (ukuran sampel 12 cm x 1,3 cm x 0,3),
2. Preparasi sampel dengan pengamplasan,
3. Menggunakan *Universal Testing Machine* metode *three point bending*,
4. Dari pengujian diperoleh beban maksimal sampel hingga patah,
5. Lalu dihitung menggunakan Rumus (4) [6].

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

$\sigma_f$ : Kuat lentur MPa  
 P: Beban Maksimal N  
 L: Panjang Spesimen mm  
 b: Lebar spesimen mm  
 d: Tebal spesimen mm

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Target hasil pengujian pelat bipolar sebagaimana tabel 2.

Tabel 2. Target Teknis Standar DOE untuk Pelat Bipolar [10]

Characteristic	Units	2005 Status <sup>a</sup>	2010	2015
Cost <sup>b</sup>	\$/kW	10 <sup>c</sup>	5	3
Weight	kg/kW	0.36	<0.4	<0.4
H <sub>2</sub> permeation flux	cm <sup>3</sup> sec <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> @ 80°C, 3 atm (equivalent to <0.1 mA/cm <sup>2</sup> )	<2 x 10 <sup>-4</sup>	<2 x 10 <sup>-4</sup>	<2 x 10 <sup>-4</sup>
Corrosion	μA/cm <sup>2</sup>	<1 <sup>d</sup>	<1 <sup>d</sup>	<1 <sup>d</sup>
Electrical conductivity	S/cm	>600	>100	>100
Resistivity <sup>e</sup>	Ohm-cm	<0.02	0.01	0.01
Flexural Strength <sup>f</sup>	MPa	>34	>25	>25
Flexibility	% deflection at mid-span	1.5 to 3.5	3 to 5	3 to 5

<sup>a</sup> This is the first year for which status is available. 2005 status is for carbon plates, except for corrosion status which is based on metal plates.  
<sup>b</sup> Based on 2002 dollars and costs projected to high volume production (500,000 stacks per year).  
<sup>c</sup> Status is from 2005 TIAx study and will be periodically updated.  
<sup>d</sup> May have to be as low as 1 nA/cm if all corrosion product ions remain in ionomer.  
<sup>e</sup> Includes contact resistance.  
<sup>f</sup> Developers have used ASTM C-651-91 Standard Test Method for Flexural Strength of Manufactured Carbon and Graphite Articles Using Four Point Loading at Room Temperature.

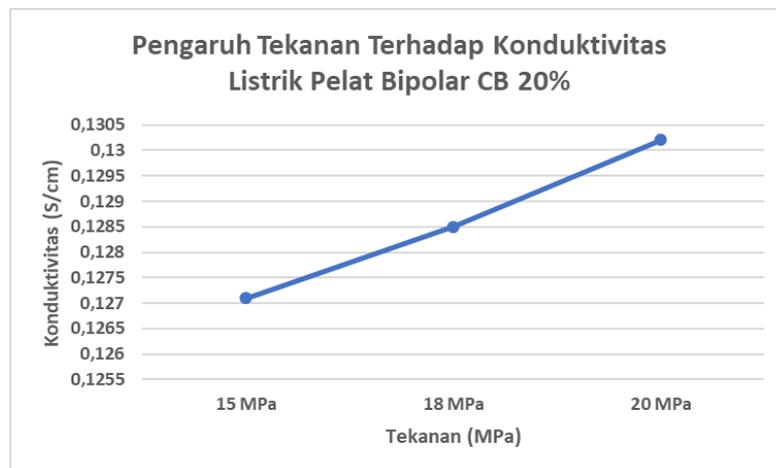
#### Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian sebagaimana tabel 3.

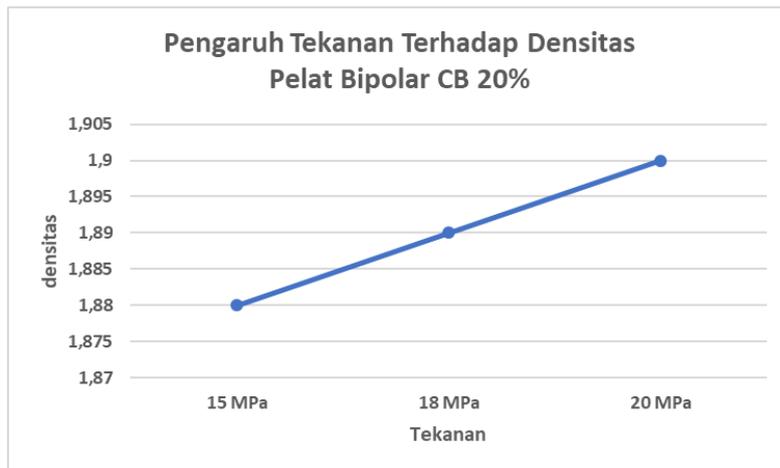
Tabel 3. Data Perbandingan Sifat Komposit Hasil Pengujian dengan CB 20%

Tekanan	Konduktivitas (S/cm)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Porositas %	Kuat Lentur (Mpa)
15 MPa	0,127097217	1,88	0,682	13,458
18 MPa	0,128501959	1,89	0,685	13,46
20 MPa	0,130208687	1,9	0,687	13,462

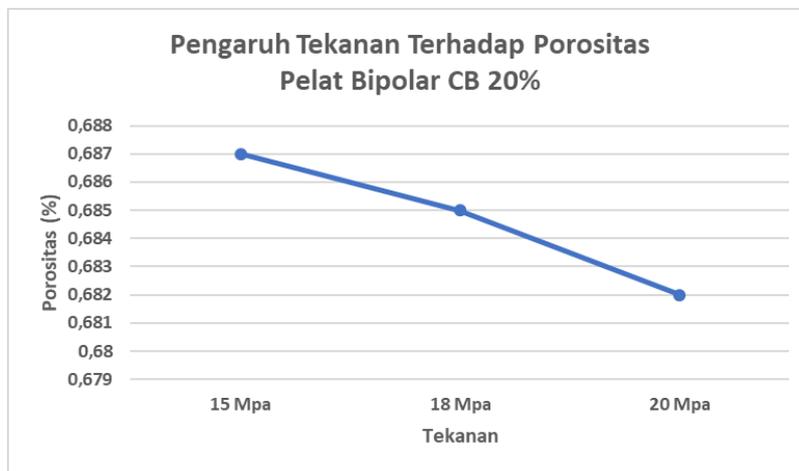
Pengaruh penekanan terhadap kinerja pelat bipolar dengan komposisi *carbon black* tempurung kelapa 20% sebagaimana gambar 9, 10, 11, 12.



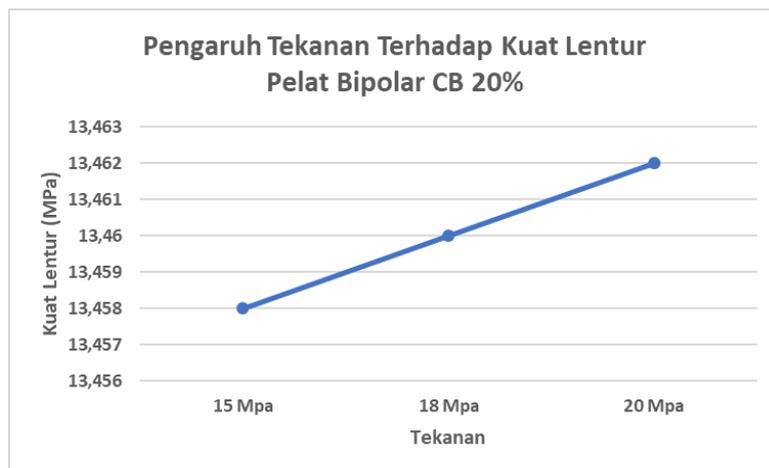
Gambar 9. Pengaruh Tekanan Terhadap Konduktivitas Pelat Bipolar CB 20%



Gambar 10. Pengaruh Tekanan Terhadap Densitas Pelat Bipolar CB 20%



Gambar 11. Pengaruh Tekanan Terhadap Porositas Pelat Bipolar CB 20%



Gambar 12. Pengaruh Tekanan Terhadap Kuat Lentur Pelat Bipolar CB 20%

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dibuat material pelat bipolar komposit berkomposisi grafit sintetis seberat 60%, *carbon black* tempurung kelapa 20% dengan perekat resin epoksi yang diberikan variasi penekanan sebesar 15 MPa, 18 MPa, 20 MPa pada temperatur 135°C menggunakan *compression moulding* selama 4 jam. Hasil Pengujian menunjukkan adanya pengaruh tekanan terhadap kinerja pelat bipolar komposisi 20% karbon tempurung kelapa. Terjadi peningkatan konduktivitas, densitas dan kuat lentur jika penekanan yang diberikan semakin tinggi. Namun, terjadi penurunan porositas apabila tekanan semakin tinggi. Data menunjukkan bahwa pelat bipolar dengan kandungan karbon tempurung kelapa 20% dengan variasi penekanan 15-20 MPa masih berada di bawah standar DOE.

#### REFERENSI

1. Kutz, M. (2011). *Applied plastics engineering handbook*. Plastic design library Elsevier.
2. Wang, Y. (2006). *Conductive thermoplastic composite blends for flow field plates for use in Polymer electrolyte membran fuel cell* (PEMFC). Ontario, Canada: University Waterloo.
3. Hwang, I. U., Yu, H. N., Kima, S. S., Lee, D. G., J. D., Lee, S. H., . . . Lim, T. (2008). *Bipolar plate made of carbon fiber epoxy composite for polymer electrolyte membrane fuel cell*. Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Republic of Korea: Jurnal of Power Source Elsevier.
4. Putra, S. (2010). *Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Performa Pelat Bipolar Komposit Karbon EAF/Resin Epoksi dengan Komposisi 5% Carbon Black*, Skripsi. Depok: Fakultas Teknik Departemen Metalurgi dan Material, Univeritas Indonesia.
5. Ehsan Zarmehri, M. S.-Z. (2013). *Construction of Composite Polymer Bipolar Plate for Pem Fuel Cell*. Iran: Department of Chemical Engineering, Isfahan University of Technology.
6. ASTM D 790
7. ASTM D 792
8. ASTM C 20
9. ASTM B 193
10. Adrianowycz, Orest L.. *Next Generation Bipolar Plate for Automotive PEM Fuel Cell*. DOE Hydrogen Program, GrafTech International Ltd., 2007.