

**STUDI PEMANFAATAN LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI SUBSTRAT  
DALAM SISTEM MICROBIAL FUEL CELL (MFC) BERBASIS KERAMIK  
(UTILIZATION OF TOFU LIQUID WASTE WITH CERAMIC-BASED  
MICROBIAL FUEL CELL (MFC) TECHNOLOGY)**

**Tri Mulyono<sup>1</sup>, Siswanto<sup>2</sup>, Misto<sup>3</sup>, Mutiara Garnet R.A<sup>3</sup>, Bowo Eko Cahyono<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember

<sup>2</sup> Jurusan Biologi FMIPA Universitas Jember

<sup>3</sup> Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember

\*Corresponding author's email: trimulyono.fmipa@unej.ac.id

**ABSTRACT**

*The purpose of this study was to determine the effect of adding variations in substrate concentration and the effect of variations in the surface area of the electrodes (anode and cathode) on the power density, resulting in a maximum power density value for a period of 13 days. measurement. The first step is measuring voltage and current with substrate concentration without dilution process, then variation of concentration is carried out with 10 times, 8 times, 5 times, 4 times, and 2 times dilutions on ceramics with a diameter of 8 cm. . The second step is to measure the voltage and current by varying the surface area of the electrodes (cathode and anode). The measurement results showed that the maximum power density value obtained was 188.23 mW/m<sup>2</sup> without a dilution process, namely with a concentration of 3640 ppm for the 3rd day. While the results of the measurement of the variation of the electrode surface area obtained a maximum power density value of 205.88 mW/m<sup>2</sup> on the electrode surface area of 3.57 m<sup>2</sup> for the third day. The more surface area of the electrode given at the time of measurement, the more bacteria that are in contact with the electrode, causing the value of the resulting power density to be greater.*

**Keywords:** waste tofu, microbial fuel cell (MFC), power density, electrode, ceramic

**ABSTRAK**

*Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi konsentrasi substrat dan pengaruh variasi luas permukaan elektroda (anoda dan katoda) terhadap rapat daya, sehingga menghasilkan nilai rapat daya maksimum untuk jangka waktu 13 hari. pengukuran. Langkah awal pengukuran tegangan dan arus dengan konsentrasi substrat tanpa proses pengenceran, selanjutnya dilakukan variasi konsentrasi dengan pengenceran 10 kali, 8 kali, 5 kali, 4 kali, dan 2 kali pada keramik berdiameter 8 cm. . Langkah kedua adalah mengukur tegangan dan arus dengan memvariasikan luas permukaan elektroda (katoda dan anoda). Hasil pengukuran didapatkan nilai densitas daya maksimum yang diperoleh sebesar 188,23 mW/m<sup>2</sup> tanpa proses pengenceran yaitu dengan konsentrasi 3640 ppm untuk hari ke-3. Sedangkan hasil pengukuran variasi luas permukaan elektroda diperoleh nilai rapat daya maksimum sebesar 205,88 mW/m<sup>2</sup> pada luas permukaan elektroda 3,57 m<sup>2</sup> untuk hari ketiga. Semakin banyak luas permukaan elektroda yang diberikan pada saat pengukuran maka semakin banyak pula bakteri yang kontak dengan elektroda sehingga menyebabkan nilai densitas daya yang dihasilkan semakin besar.*

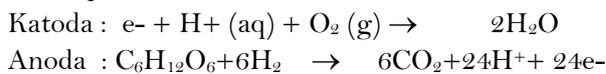
**Keywords:** Limbah tahu, microbial fuel cell, rapat daya, elektroda, bakteri, keramik

## PENDAHULUAN

Indonesia masih mendominasi sumber energi listrik dari fosil dalam penggunaan listriknya. PLTU berbahan batu bara menempati posisi pertama sebesar 24.8883 MW atau 48% dari total kapasitas pembangkit listrik dalam negeri dari 52.231 MW. Pembangkit listrik tenaga gas dan uap berbahan bakar gas menempati posisi kedua, sebesar 11.262 MW atau 22%. Diurutan ketiga terdapat PLTG pembangkit listrik tenaga gas dan pembangkit listrik tenaga mesin dan gas (PLTMG) sebesar 3.944 MW atau 8% (Data BPS dan Kementerian ESDM tahun 2017). Penggunaan bahan bakar fosil berkepanjangan akan menyebabkan ketidakstabilan bumi, diantaranya semakin menipisnya minyak bumi, dan mengacu pada kestabilan harga SDA, meningkatnya polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil, serta perubahan iklim [1]. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi kebutuhan energi di bumi yaitu sistem fuel cell. Kronologis singkat proses yang terjadi dalam sistem fuel cell yaitu oksigen dan hidrogen direaksikan dalam sel untuk memproduksi air dan arus listrik [2].

Kurniawati & Sanjaya [3] menyatakan Energi yang dihasilkan sistem fuel cell dalam bentuk energi listrik dengan cara mengendalikan arus elektron. Fuel cell menghasilkan elektron dengan melepaskan hidrogen bebas yang membutuhkan katalis yang berasal dari sel hidup seperti mikroba yang ditempatkan pada anoda. Microbial fuel cell (MFC) adalah salah satu teknologi ramah lingkungan yang mengkonversi energi dengan memanfaatkan kemampuan metabolisme bakteri. Microbial Fuel Cell (MFC) menggunakan bakteri anaerob, yaitu bakteri yang dapat mengkonversi berbagai macam senyawa organik menjadi karbondioksida, air, dan energi.

Menurut Kurniawati [5] menuliskan proses reaksi yang terjadi di dalam sistem Microbial Fuel Cell seperti :



Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan dan menjadi upaya penanggulangan pencemaran lingkungan adalah limbah cair industri tahu [6] Kadar COD dan BOD pada limbah cair tahu cukup tinggi begitupun dengan zat organik yang terkandung di dalamnya. Hasil kadar COD dalam limbah cair tahu sebesar 8.000 - 11.400 mg/L sedangkan Hasil kadar BOD sebesar 6.000-8000 mg/L, sehingga limbah cair hasil pembuangan tahu merupakan salah satu pencemaran lingkungan yang cukup tinggi [9].

Terdapat beberapa penelitian mengenai Microbial Fuel Cell (MFC) menggunakan limbah air tahu telah banyak dilakukan. Novitasari, [11]) menganalisis potensi pada bakteri *Lactobacillus bulgaricus* menghasilkan energi listrik maksimum sebesar 0,302 mA dan 208 mV dalam waktu 100 jam. Heryani, [1] juga telah melakukan penelitian mengenai limbah cair tahu dengan sistem dual chamber Microbial Fuel Cell (MFC) memperoleh kuat arus sebesar 7 – 7,9 mA. Pada artikel ini dilakukan untuk pengembangan dalam mengetahui pengaruh pengolahan limbah dengan Microbial Fuel Cell (MFC) terhadap kuat arus yang diperoleh menggunakan isolat bakteri asli pada limbah yang diperoleh setelah sistem dilakukan. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang telah dilakukan terletak pada pencarian nilai power density limbah cair tahu menggunakan sistem MFC. Penggunaan media sebagai membran MFC secara keseluruhan yang digunakan juga berbeda, desain yang diaplikasikan juga tentu berbeda, dimana pada penelitian ini menggunakan gerabah tradisional berupa keramik. Menurut penelitian [14], menyatakan dalam menghasilkan daya maksimal sebesar 286 mW/m<sup>2</sup> yang menggunakan membran gerabah sebagai bahan alternatif yang lebih terjangkau untuk Proton Exchanges Membrane (PEM). Serta pemilihan elektroda, misal pemilihan katoda berbasis karbon aktif sebagai campuran PTFE. Menurut [16], Kinerja daya maksimum dari operasi MFC yang dimodifikasi pada urin manusia mencapai daya hingga 3,7 mW yang merupakan kepadatan daya volumetrik 52,9 W m<sup>3</sup> dan menunjukkan kinerja hingga 3 kali lebih baik pada kontrol, anoda yang tidak dimodifikasi.

Pada artikel ini, karakteristik limbah tahu dapat diketahui melalui pengukuran parameter kimia dari limbah cair tahu. Limbah cair yang akan dianalisa adalah limbah cair sisa hasil proses pengolahan atau penyaringan tahu menjadi gumpalan tahu atau whey. Hasil uji yang didapat akan dibandingkan dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 tahun 2014. Hasil Analisa parameter limbah cair tahu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2.1 Karakteristik limbah cair hasil industri tahu

Parameter	Satuan	Konsentrasi substrat	Baku Mutu
TTS	Mg/L	5603	200
BOD	Mg/L	491,52	150
pH	mg/L	3,5	6-9

Secara umum karakteristik limbah cair tahu lebih kental dibandingkan air murni, berwarna kuning kecoklatan atau keruh, memiliki suhu 40°C karena proses perebusan kedelai, serta memiliki bau asam yang cukup menyengat. Selain karakteristik, dalam limbah terdapat baku mutu air yang ditentukan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia.

Energi listrik yang telah dihasilkan dalam sistem Microbial Fuel Cell dapat diukur menggunakan alat multimeter. Multimeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui arus listrik, tegangan listrik, dan resistansi. Penelitian ini dalam pengambilan data menggunakan multimeter sebagai alat untuk mengetahui nilai tegangan serta nilai kuat arus yang telah dihasilkan pada sistem Microbial Fuel Cell (MFC). Menurut Behera et al (2010), hasil dari pengambilan data dari tegangan dan kuat arus melalui multimeter, akan menghasilkan besar daya listrik serta nilai dari power density.

$$\text{Daya (P)} = V \times I$$

$$\text{Power Density} = \frac{\text{Daya (P)}}{\text{luas permukaan (A)}}$$

Keterangan :

P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

I : Kuat arus (Ampere)

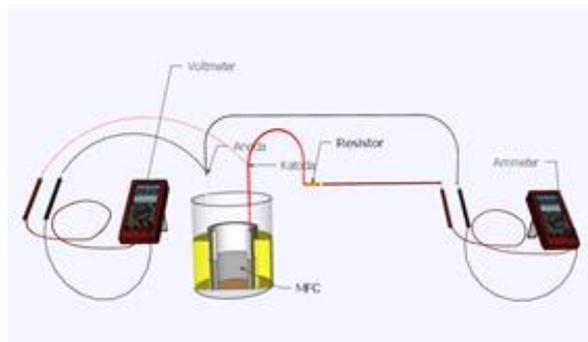
Pd : Power density (Watt/m<sup>2</sup>)

A : Luas permukaan anoda (m<sup>2</sup>)

## METODE PENELITIAN

pengukuran dilakukan untuk mengetahui nilai hasil pengukuran tegangan dan kuat arus dari substrat limbah cair tahu sebelum dan sesudah bervariasi, yang kemudian diolah sehingga mendapatkan nilai power density (mW/m<sup>2</sup>) daya persatuan luas permukaan elektroda sebelum dan sesudah bervariasi. Tahap awal mengukur arus dan tegangan substrat limbah cair tahu, lalu diolah dan didapatkan nilai power density (Pd) maksimum awal. Tahap selanjutnya dilakukan pengukuran ulang tegangan dan kuat arus dengan memvariasi perbandingan luas permukaan elektroda dengan ukuran keramik sebesar 6 cm, 8 cm, 10 cm, dan 12 cm, lalu diolah dan didapatkan nilai power density (Pd) maksimum kedua. Tegangan dan kuat arus diukur

menggunakan multimeter digital. Desain rangkaian yang digunakan pada penelitian ini berupa Dual Chamber MFC.



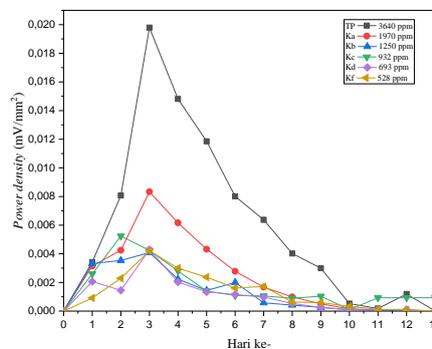
Gambar 1. Skema pengukuran tahanan dan arus listrik pada MFC

Pengukuran tegangan dan kuat arus listrik pada variasi konsentrasi substrat tahap awal dengan mengambil limbah cair tahu sebanyak 200 ml tanpa pengenceran, kemudian substrat diletakkan pada toples bagian anoda dengan menggunakan diameter keramik sebesar 8 cm pada desain sistem MFC. Variasi substrat dilakukan dengan pengenceran sebanyak 10 kali, 8 kali, 6 kali, 4 kali dan 2 kali, kemudian akan mendapatkan data hasil pengukuran I dan V. Hasil data I dan V sebelum dan sesudah bervariasi diolah dan dihitung untuk mengetahui nilai power density maksimum. Pd maksimum yang didapat digunakan sebagai patokan untuk memvariasi perbandingan luas permukaan elektroda (anoda dan katoda).

Pengukuran tegangan dan kuat arus listrik pada variasi perbandingan luasan elektroda (anoda dan katoda). Variasi perbandingan luas permukaan elektroda (anoda dan katoda) pada keramik dengan ukuran diameter sebesar 8 cm, 10 cm, dan 12 cm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

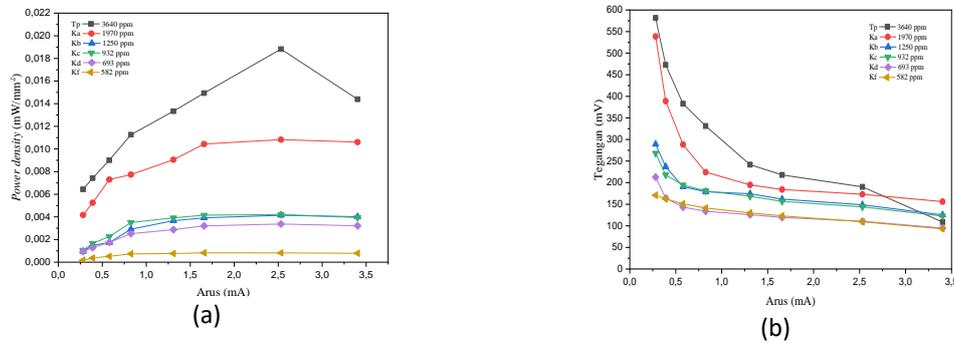
Limbah cair tahu yang dimanfaatkan menggunakan sistem Microbial Fuel Cell (MFC) berbasis keramik, perlu dilakukan perhitungan dan analisis untuk mencari dan menentukan nilai power density maksimum dengan variasi konsentrasi substrat limbah cair tahu dan variasi perbandingan luas permukaan pada elektroda (anoda dan katoda). Data hasil dari variasi konsentrasi substrat tanpa pengenceran dan dilakukan berulang kali pengenceran yaitu 2 kali, 4 kali, 6 kali, 8 kali dan 10 kali pengenceran dapat dilihat pada gambar 2.



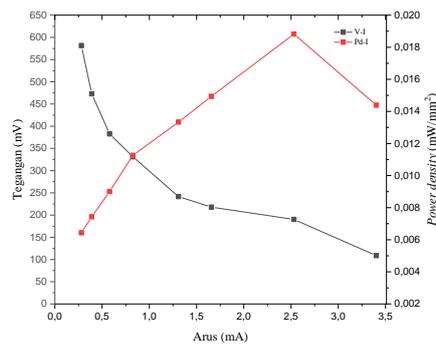
Gambar 2. Grafik hubungan power density dengan pengukuran selama 13 hari untuk variasi konsentrasi

Pada Gambar 2 menunjukkan nilai power density maksimum yaitu didapatkan pada variasi konsentrasi substrat untuk sampel Tp dengan nilai konsentrasi 3640 ppm sebesar 0,018823

mW/mm<sup>2</sup> untuk hari ke-3. Hal ini berarti bahwa pada konsentrasi 3640 ppm merupakan limbah cair tahu yang sepenuhnya tanpa penambahan air atau tanpa dilakukan pengenceran. Semakin tinggi nilai konsentrasi, maka semakin banyak juga kandungan padatan yang terlarut. Kadar padatan yang semakin tinggi, maka semakin besar resiko clogging (penyumbatan) media dan hydraulic conductivity yang didapat akan menurun sehingga efisiensi pengolahan dari sistem semakin berkurang.



Gambar 3. Grafik hubungan (a) nilai power density terhadap arus (b) nilai tegangan terhadap arus yang dihasilkan MFC pada setiap konsentrasi hari ke-3



Gambar 4. Grafik hubungan nilai power density terhadap yang dihasilkan MFC pada konsentrasi 3640 ppm hari ke-3

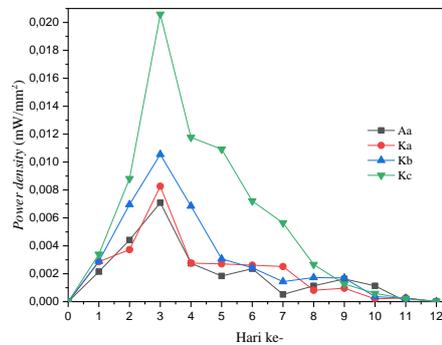
Tabel 2. Hasil optimasi pengukuran MFC

C (ppm)	V (mV)	I (mA/m <sup>2</sup> )	Power density Maksimum (mW/mm <sup>2</sup> )
3640	581,7	3,40	0,018823
1970	538,7	2,53	0,018823
1250	289,0	1,66	0,014939
923	268,1	1,31	0,013336
693	212,8	82,37	0,011261
582	170,9	86,22	0,09009

Pada Gambar 3 dan 4 mengartikan bahwa semakin besar nilai arus yang dihasilkan dalam pengukuran, maka rapat daya yang dihasilkan juga semakin besar. Nilai arus yang semakin tinggi, menandakan bahwa terdapat elektron yang dialirkan pada katoda cukup besar. Sedangkan, nilai tegangan mengalami penurunan yang diakibatkan adanya aktifitas bakteri

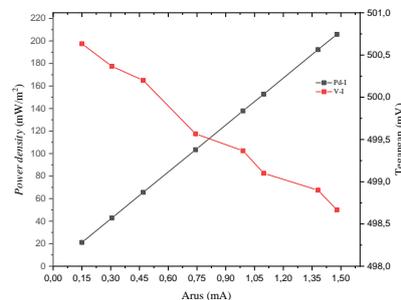
diper permukaan anoda yang semakin lama akan membentuk biofilm sehingga rapat daya yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan juga. Nilai rapat daya didapat dari perkalian antara nilai tegangan dan nilai arus yang dihasilkan dari pengukuran dibagi dengan luas permukaan elektroda, dimana pada pengukuran MFC ntuk variasi konsnetrasi substrat menggunakan luas permukaan elektroda 2,56 m<sup>2</sup>. Pada Tabel 2, hasil nilai power density maksimum yang didapat dari pengukuran adalah 188,23 mW/m<sup>2</sup> dengan konsentrasi 3640 ppm.

Data hasil dari variasi luas permukaan elektroda (anoda dan katoda) pada pengukuran MFC terdapat 4 variasi yaitu sampel Aa (2,4425 m<sup>2</sup>), Ka (2,56 m<sup>2</sup>), Kb (3,15 m<sup>2</sup>) dan Kc (3,57 m<sup>2</sup>) didapat nilai power density paling tinggi pada sampel tipe Kc dengan luas permukaan elektroda 3,57 m<sup>2</sup> merupakan nilai rapat daya yang tinggi yaitu 205,88 mW/m<sup>2</sup> tepat pada hari ke-3 yang dapat dilihat pada Gambar 5. Mikroba yang terdapat didalam MFC sangat berperan penting dalam meningkatkan nilai power density pada saat luas permukaan elektroda juga diperbesar. Hal tersebut meningkatkan banyaknya kontak bakteri yang terjadi pada elektroda (anoda dan aktoda), sehingga nilai power density yang dihasilkan semakin tinggi.



Gambar 5. Grafik hubungan power density dengan pengukuran selama 12 hari untuk variasi luas permukaan elektroda

Variasi luas permukaan yang dihasilkan mempengaruhi nilai arus yang dihasilkan. Semakin besar nilai arus yang dihasilkan, maka nilai power density maksimum yang dihasilkan juga semakin besar. Semakin luas permukaan elektroda (anoda dan katoda), semakin besar nilai tegangan yang dihasilkan dari pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Tabel 3.



Gambar 6. Grafik hubungan nilai *power density* terhadap arus dan tegangan terhadap arus yang dihasilkan MFC luas permukaan elektroda 3,57 m<sup>2</sup> hari ke-3

Tabel 7.8 Hasil optimasi pengukuran MFC terhadap variasi luas permukaan elektroda

A (m <sup>2</sup> )	V (mV)	I (mA)	Power density Maksimum (mW/m <sup>2</sup> )
2,4425	277,13	0,62	70,88
2,56	316,93	0,67	82,68
3,15	329,53	1,01	105,47
3,57	500,63	1,48	205,88

## KESIMPULAN

Variasi konsentrasi dari limbah cair tahu yang dihasilkan oleh sistem Microbial Fuel Cell (MFC) mempengaruhi nilai power density, semakin besar tingkat konsentrasi substrat yang diberikan maka nilai power density yang dihasilkan juga semakin besar. Sedangkan untuk variasi luas permukaan elektroda, Semakin luas permukaan elektroda yang diberikan, maka nilai power density yang dihasilkan juga semakin besar karena adanya kontak bakteri yang terjadi pada elektroda..

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sleutels, T. H. J. a. 2010. Microbial Electrolysis Kinetics and Cell Design.
- [2] Sitorus, B. 2010. Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba. Jurusan Kimia, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura 2(1): 10-15.
- [3] Kurniawati, L., & Sanjaya, I. G. M. 2013. Pengaruh Jenis Bakteri Selulolitik Terhadap Efisiensi Sel Bakar Mikroba. UNESA Journal of Chemistry 2(2): 17–22.
- [4] Bruce E, L. 2007. Microbial Fuel Cells. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc
- [5] Subekti, S. 2011. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang B. 1, 61.
- [6] Novitasari, D. 2011. Optimasi Kinerja MFC untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*.
- [7] Heryani, Hani. 2012. Penentuan Kuat Arus Listrik yang dihasilkan dari Sistem Microbial Fuel Cell dengan menggunakan Elektroda Tembaga pada Limbah Cair Industri Tahu. Skripsi. FMIPA Unjani, Cimahi.
- [8] Gajda, I., Greenman, J., Melhuish, C., & Ieropoulos, I. 2015. Simultaneous electricity generation and microbially-assisted electrosynthesis in ceramic MFCs. *Bioelectrochemistry* 104(1): 58-64.
- [9] Gajda, I., You, J., Santoro, C., Greenman, J., & Ieropoulos, I. A. 2020. A new method for urine
- [10] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. Review Essay: The Third Way. *Political Science* 52(2): 174–180.
- [11] Behera, M., Jana, P. S., More, T. T., & Ghangrekar, M. M. 2010. Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. *Bioelectrochemistry* 79(2): 228–233.
- [12] Liu, H., & Logan, B. 2004. Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell (MFC) in the absence of a proton exchange membrane. *ACS National Meeting Book of Abstracts* 228(1): 4040–4046.

- [13] Yohanes Jones, L., Utamakno, Y., Galih, D., & Cahyono. 2015. Pemanfaatan Lempung Sebagai Bahan Baku Gerabah. Prosiding Seminar Nasional Sain Dan Teknologi Terapan, Bahan Lempung, 543-554.