

Pemanfaatan Limbah Cair Tahu dengan Teknologi Microbial Fuel Cell (MFC) Berbasis Keramik

Utilization of Tofu Liquid Waste with Ceramic-Based Microbial Fuel Cell (MFC) Technology

Moh. Abduh Wafi¹, Mutiara Garnet Rahmani Ahmad², Misto², Bowo Eko Cahyono²,
Tri Mulyono^{3*}, Mutmainnah²

¹Prodi Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

²Prodi Sarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

³Prodi Sarjana Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

*E-mail: trimulyono.fmipa@unej.ac.id

ABSTRACT

The application of ceramic-based Microbial Fuel Cells (MFCs) for the treatment of tofu liquid waste presents a promising and environmentally sustainable approach. The purpose of this study was to determine the effect of adding variations in substrate concentration and to determine the effect of variations in the surface area of the electrode (anode and cathode), resulting in a maximum power density value for a period of 13 days of measurement. The initial step is measuring the voltage and current with the substrate concentration without a dilution process, then the concentration variations are carried out by dilution 10 times, 8 times, 5 times, 4 times, and 2 times on ceramics with a diameter of 8 cm. The second step is measuring the voltage and current by varying the surface area of the electrodes (cathode and anode). The results of the measurements obtained that the maximum power density value obtained was 188.23 mW/m² without a dilution process, namely with a concentration of 3640 ppm for the third day. Meanwhile, the results of the measurement of the variation of the electrode surface area obtained a maximum power density value of 205.88 mW/m² on the electrode surface area of 3.57 m² for the third day. The more surface area of the electrode given at the time of measurement, the more bacteria contact the electrode, causing the resulting power density value to be even greater.

Keywords: Waste tofu, Microbial Fuel Cell (MFC), power density.

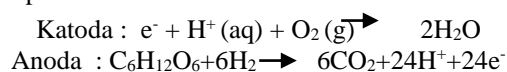
PENDAHULUAN

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% (Sulistiyawati *et al.*, 2020). 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 (Rayhan *et al.*, 2023), (Achakulwisut *et al.*, 2023). 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 (Prமானjaroenkij & Kakaç, 2023).

Kurniawati & Sanjaya (2013) menyatakan Energi yang dihasilkan sistem *fuel cell* dalam bentuk energi listrik dengan cara mengendalikan arus electron (Kurniawati & Sanjaya, 2013). *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. MFC menggunakan bakteri anaerob, yaitu bakteri yang dapat mengkonversi berbagai macam senyawa organik menjadi karbondioksida, air, dan energi.

Menurut Kurniawati (2013) menuliskan proses reaksi yang terjadi di dalam sistem *MFC* seperti:



Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan dan menjadi upaya penanggulangan pencemaran lingkungan adalah limbah cair industri tahu (Ajijah *et al.*, 2020). 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 (Faisal *et al.*, 2016) sedangkan hasil kadar BOD sebesar 6.000-8000 mg/L, sehingga limbah cair hasil pembuangan tahu merupakan salah satu pencemaran lingkungan yang cukup tinggi (M. Aras, 2020), (Widayat *et al.*, 2019).

Terdapat beberapa penelitian mengenai MFC menggunakan limbah air tahu telah banyak dilakukan. Heryono, (2018) menganalisis potensi pada bakteri *lactobacillus bulgaricus* menghasilkan energi listrik maksimum sebesar 0,302 mA (Heryono *et al.*, 2018) dan 208 mV dalam waktu 100 jam. Safaati, (2020) juga telah melakukan penelitian mengenai limbah cair tahu dengan sistem *dual chamber* MFC memperoleh kuat arus sebesar 7 - 7,9 mA (Syafaati *et al.*, 2020). Sedangkan pada artikel ini dilakukan untuk pengembangan MFC dengan menggunakan keramik dalam mengetahui pengaruh pengolahan limbah dengan *Ceramic based Microbial Fuel Cell* (MFC) terhadap kuat arus yang dihasilkan menggunakan isolat bakteri asli pada limbah yang diperoleh setelah sistem dilakukan. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang telah dilakukan terletak pada pemanfaatan limbah cair tahu menggunakan sistem MFC berbasis keramik gerabah. 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 Gajda *et al.*, (2015), menyatakan dalam menghasilkan daya maksimal sebesar 286 mW/m² yang menggunakan membran gerabah sebagai bahan alternatif yang lebih terjangkau untuk *Proton Exchanges Membrane* (PEM) (Gajda *et al.*, 2015). Serta pemilihan elektroda, misal pemilihan katoda berbasis karbon aktif sebagai campuran PTFE. Menurut Gajda *et al.*, (2020), kinerja daya maksimum dari operasi MFC yang dimodifikasi pada urin manusia mencapai daya hingga 3,7 mW (Gajda, 2020) yang merupakan kerapatan daya volumetrik 52,9 W m³ dan menunjukkan kinerja hingga 3 kali lebih baik pada kontrol, anoda yang tidak dimodifikasi.

Karakteristik limbah tahu dapat diketahui melalui pengukuran parameter kimia dari limbah cair tahu. Limbah cair yang 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 1. Karakteristik limbah cair hasil industri tahu

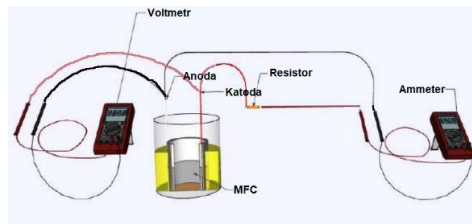
Parameter	Satuan	Konsentrasi substrat	Baku Mutu
TTS	Mg/L	5603	200
BOD	Mg/L	491,52	150
pH	-	3,5	6-9

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 limbah tahu ini tidak memenuhi baku mutu air yang ditentukan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia.

Artikel ini menyelidiki optimalisasi pembangkit listrik dari limbah cair tahu, sumber biofuel yang potensial, dengan menyelidiki pengaruh konsentrasi substrat dan luas permukaan elektroda dalam sistem MFC berbasis keramik. Dengan memaksimalkan kepadatan daya, penelitian ini bertujuan untuk berkontribusi pada pengembangan MFC yang efisien dan ramah lingkungan untuk produksi bioenergi.

METODE

Pengukuran pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi sbstrat laimba tahu dan pengaruh perbandingan luas anoda: katoda terhadap *power density*. Tahap awal mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan MFC dengan memvariasi konsentrasi 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 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengukuran

Pengaruh Konsentrasi Substrat

Pengukuran tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan system MFC dengan 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 konsentrasi substrat dilakukan dengan pengenceran seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pengenceran ini kemudian diukur konsentrasi padatan terlarut (TDS) dengan konduktometer. Hasil data I dan V sebelum dan sesudah tervariasi diolah dan dihitung untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap nilai *power density* maksimum.

Tabel.2 Variasi konsentrasi substrat dari limbah tahu

No	Volume limbah (mL)	Konsentrasi (ppm)	Label
1.	200	3640	Tp
2.	100	1970	Ka
3.	50	1250	Kb
4.	33,3	932	Kc
5.	20	693	Kd
6.	10	582	Kf

Pengukuran tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan oleh MFC dengan 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 ditunjukkan pada Table 3.

Tabel 3. Perbandingan luas anoda dan katoda yang menempel pada dinding luar dan dalam keramik

No	Diameter Keramik	Perbandingan Luas anoda : katoda	Label
1.	6 cm	2,44	Aa
2.	8 cm	2,56	Ka
3.	10 cm	3,15	Kb
4.	12 cm	3,57	Kc

Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem *Microbial Fuel Cell* dihitung menggunakan rumus 1 (Mulyono, 2020), (Mulyono *et al.*, 2021). Sedangkan *Power density* dihitung menggunakan persamaan (2) (Mulyono *et al.*, 2024), .

$$\text{Daya (P)} = V \times I \quad \dots\dots\dots (1)$$

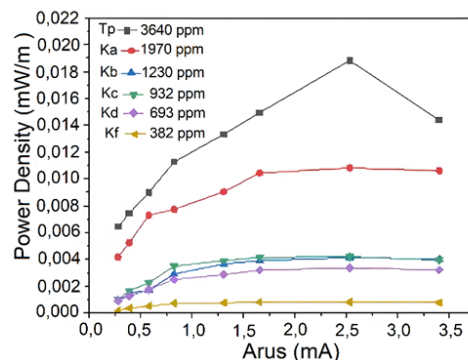
$$\text{Power Density (PD)} = \frac{\text{Daya (P)}}{\text{Luas Anoda (A)}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- P : Daya (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Kuat arus (Ampere)
- Pd : Power density (Watt/m²)
- A : Luas permukaan anoda (m²).

HASIL DAN PEMBAHASAN

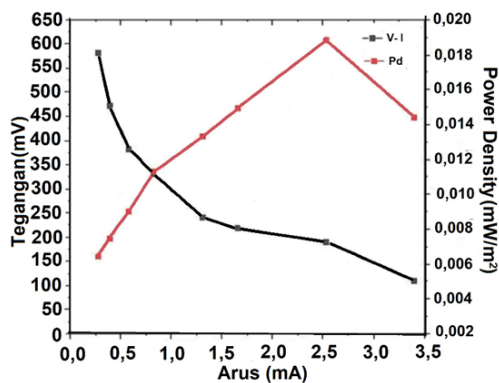
Limbah cair tahu yang dimanfaatkan menggunakan sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) berbasis keramik, perlu dilakukan perhitungan dan analisis untuk mencari dan menentukan nilai *power density* maksimum dengan variasi konsentrasi substrat limbah cair tahu dan variasi perbandingan luas permukaan pada elektroda (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* terhadap perbandingan luas anoda dan katoda dengan pengukuran selama 13 hari

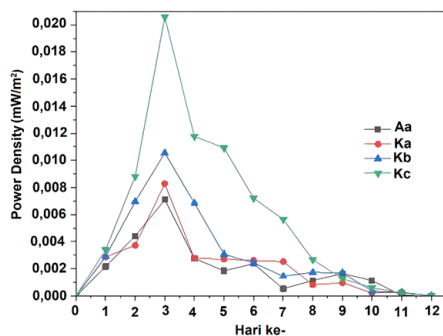
Pada Gambar 2 menunjukkan nilai *power density* maksimum yaitu didapatkan pada variasi konsentrasi substrat untuk sampel Tp dengan nilai konsentrasi 3640 ppm sebesar 0,018823 mW/mm² untuk hari ke-3. Hal ini berarti bahwa pada konsentrasi 3640 ppm merupakan limbah cair tahu yang sepenuhnya tanpa penambahan air atau tanpa dilakukan pengenceran. Semakin tinggi nilai konsentrasi, maka semakin banyak juga kandungan padatan yang terlarut yang menjadi nutrisi nutrisi. Dampaknya semakin banyak jumlah bakteri pada permukaan elektroda (Mulyono *et al.*, 2023). Kadar padatan yang semakin tinggi, maka semakin besar resiko *clogging*

(penyumbatan) media dan konduktifitas yang didapat akan menurun sehingga efisiensi pengolahan dari sistem semakin berkurang.



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

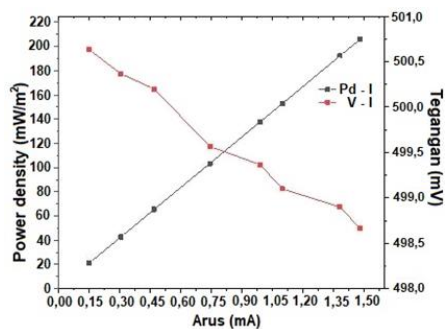
Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar nilai arus yang dihasilkan dalam pengukuran, maka *power density* yang dihasilkan juga semakin besar. Nilai arus yang semakin tinggi, menandakan bahwa terdapat aliran elektron menuju ke katoda cukup besar. Sedangkan, nilai tegangan mengalami penurunan yang diakibatkan adanya aktifitas bakteri dipermukaan 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 untuk variasi konsentrasi substrat menggunakan perbandingan luas permukaan elektroda 2,56. Pada gambar 2, hasil nilai *power density* maksimum yang didapat dari pengukuran adalah 188,23 mW/m² dengan konsentrasi 3640 ppm.



Gambar 4. Hubungan pengaruh perbandingan luas anoda: katoda terhadap *power density* MFC

Data hasil dari variasi luas permukaan elektroda (anoda dan katoda) pada pengukuran MFC terdapat 4 variasi yaitu sampel Aa, Ka, Kb dan Kc didapat nilai *power density* paling tinggi pada sampel tipe Kc dengan perbandingan luas anoda:katoda elektroda 3,57 merupakan nilai *power density* yang tinggi yaitu 205,88 mW/m² 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 katoda), sehingga nilai *power density* yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Liang (Liang *et al.*, 2022), Rahimnejad (Rahimnejad, 2023)

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 (Yaqoob *et al.*, 2020). Semakin luas permukaan elektroda (anoda dan katoda), semakin besar nilai tegangan yang dihasilkan dari pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hal ini disebabkan semakin luas permukaan elektroda semakin besar luas yang ditempati bakteri.



Gambar 5. Grafik hubungan nilai *power density* terhadap arus dan tegangan terhadap arus yang dihasilkan MFC dengan perbandingan luas permukaan elektroda 3,57 m hari ke-3

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

- Achakulwisut P, Erickson P, Guivarch C, Schaeffer R, Brutschin E & Pye S. 2023. Global Fossil Fuel Reduction Pathways Under Different Climate Mitigation Strategies and Ambitions. *Nature Communications*. **14**(1): 5425.
- Ajjah N, Tjandra B, Hamidah U, Rani W & Sintawardani N. 2020. Utilization of Tofu Wastewater as A Cultivation Medium For *Chlorella Vulgaris* and *Arthrospira Platensis*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. **483**: 12027.
- Faisal M, Gani A, Mulana F & Daimon H. 2016. Treatment and Utilization of Industrial Tofu Waste in Indonesia. *Asian Journal of Chemistry*. **28**: 501-507.
- Gajda I. 2020. A New Method for Urine Electrofiltration and Long Term Power Enhancement Using Surface Modified Anodes With Activated Carbon in Ceramic Microbial Fuel Cells. *Electrochimica Acta*, **353**:1-10.
- Gajda I, Greenman J, Melhuish C & Ieropoulos I. 2015. Simultaneous Electricity Generation And Microbially-Assisted Electrosynthesis in Ceramic MFCs. *Bioelectrochemistry*. **104**: 58-64.
- Heryono H, Hasrullah H & Basmanto B. 2018. *Produksi Energi Listrik melalui Teknologi Mikrobial Fuel Cell Menggunakan Limbah Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes (Mart) Solms)*.
- Kurniawati L & Sanjaya IGM. 2013. Pengaruh Jenis Bakteri Selulolitik Terhadap Efisiensi Sel Bakar Mikroba. *Journal of Chemistry*, **2**(2): 17-22.
- Liang H, Han J, Yang X, Qiao Z & Yin T. 2022. Performance Improvement of Microbial Fuel Cells Through Assembling Anodes Modified with Nanoscale Materials. *Nanomaterials and Nanotechnology*. **12**: 18479804221132964.
- M. Aras N. 2020. Quality Test of Liquid Tofu Waste in One of The Industries in Bantaeng District. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **885**: 12013.
- Mulyono T. 2020. Bioelectricity Generation From Single-Chamber Microbial Fuel Cells With Various Local Soil Media and Green Bean Sprouts as Nutrient. *International Journal of Renewable Energy Development*. **9**(3): 423-429.
- Mulyono T, Hutamia DM, Rofi'i I, Misto M, Nugroho AT & Hariadi YC. 2024. The Application of Cows Rumen for Electricity Generation Through The Implementation of A Ceramic-Based Microbial Fuel Cell System. *Jurnal ILMU DASAR*. **25**(1): 27-32.
- Mulyono T, Misto & Nasifatul SM. 2021. The Effect of Addition of Vegetable Waste on Microbial Fuel Cell Performance. *Journal of Physics: Conference Series*. **1825**(1): 12073.
- Mulyono T, Zulfikar Z, Misto M & Islamintari, W. 2023. Effect of Fructose and Butyric Acid Addition during Electricity Production in Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Computational And Experimental Research In Materials And Renewable Energy*. **6**(1): 22-32.
- Pramuanjaroenkij A & Kakaç, S. 2023. The fuel Cell Electric Vehicles: The Highlight Review. *International Journal of Hydrogen Energy*. **48**(25): 9401-9425.
- Rahimnejad M. 2023. *Chapter 3 - Anode electrodes in MFCs* (M. B. T.-B. F. C. Rahimnejad (ed.); pp. 67–91). Elsevier.
- Rayhan A, Kinzler R & Rayhan R. 2023. *Climate Change and Global Warming: Studying Impacts, Causes, Mitigation, and Adaptation*.
- Sulistiyawati I, Rahayu NL, & Purwitaningrum, FS. 2020. Produksi Biolistrik Menggunakan Microbial Fuel Cell (MFC) *Lactobacillus Bulgaricus* dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera*, **37**(2): 112-117.
- Syafaati AD, Wulan D & Nugraha I. 2020. Potensi Perolehan Energi Listrik dalam Proses Pengolahan Limbah Tahu Melalui Microbial Fuel Cell (MFC). *ALKIMIA : Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, **3**(2): 41-50.
- Widayat W, Plilia J & Wibisono J. 2019. Liquid Waste Processing of Tofu Industry for Biomass Production as Raw Material Biodiesel Production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. **248**: 12064.
- Yaqoob AA, Ibrahim MNM, Rafatullah M, Chua YS, Ahmad A & Umar K. 2020. Recent Advances in Anodes for Microbial Fuel Cells: An Overview. *Materials (Basel, Switzerland)*. **13**(9).

