



Teknologi Bersih *Microbial Fuel Cell (MFC)* dari Limbah Cair Tempe Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan

M. Syahri*, Titik Mahargiani, Atras Ghali Indrabrata, One Olivia Orlanda

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta
 Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur Yogyakarta 55283

*E-mail : mohsyahri@gmail.com

Abstract

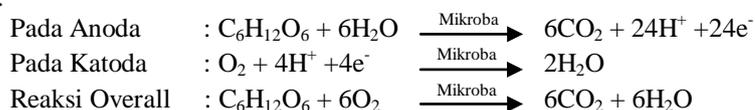
Microbial Fuel Cell represent one of the technology convert energi exploiting ability of bakteri catalise used to metabolism in form of bacterium. Abacterium here is anaerob bacterium, where its bacterium can convert assortedly of organic compound become CO₂, water, and energi. Through MFC some of yielded energi can be taken in in the form of electrics. MFC consist of two room which consist of anodize and cathode room, bacterium live at anodize room and alter substrat like glucose, acetate also liquid waste become CO₂, proton, and electron. This attempt is conducted by including tempe liquid waste media into chamber counted each 400 ml and 800 ml., dominant microbe in tempe liquid waste is Clostridium sp microbe. Electrolyte condensation 0,1N also passed to each volume 400 ml and this 800 research ml. it is got by highest voltage that is tempe liquid waste volume 800 ml electrode diameter and ml 0,4 cm equal to 675. best Power Density mV at tempe liquid waste volume 800 ml that is at electrode diameter 0,4 cm at second hour equal to 244,11 mW/cm².

Keywords : *microbial fuell cell (MFC), limbah cair*

Pendahuluan

Microbial Fuel Cell merupakan salah satu teknologi konversi energi yang memanfaatkan kemampuan metabolisme bakteri. Sistem yang berlangsung pada *Microbial Fuel Cell* adalah mengkonversi energi kimia yang terdapat pada substrat *bio-convertible* menjadi energi listrik, menggunakan katalis berupa bakteri. Bakteri yang digunakan disini adalah bakteri anaerob, dimana bakterinya bisa mengkonversi berbagai macam senyawa organik menjadi CO₂, air, dan energi. Melalui MFC sebagian energi yang dihasilkan bisa diambil dalam bentuk listrik. MFC terdiri dari dua ruang yang terdiri dari ruang anoda dan katoda, bakteri hidup pada ruangan anoda dan mengubah substrat seperti glukosa, asetat juga limbah cair menjadi CO₂, proton, dan elektron. Pada ruangan anoda dalam sebuah MFC tidak terdapat oksigen, sehingga bakteri harus mengubah aseptor elektronnya menjadi sebuah aseptor *insoluble* seperti anoda MFC. MFC bisa digunakan untuk mengumpulkan elektron berasal dari metabolisme mikroba berdasarkan pada kemampuan bakteri mentransfer elektron anoda. Elektron kemudian mengalir melalui sirkuit listrik dengan muatan pada katoda. Beda potensial antara anoda dan katoda bersama dengan aliran elektron menghasilkan daya.

Reaksi yang berlangsung pada MFC dengan substrat berupa glukosa dan oksigen sebagai aseptor adalah sebagai berikut :



Limbah Cair Tempe

Pada saat ini sebagian besar industri tempe masih merupakan industri kecil skala rumah tangga yang tidak dilengkapi dengan alat pengolahan limbah cairnya. Sedangkan industri tempe yang dikelola koperasi beberapa diantaranya telah memiliki unit pengolahan limbah. Unit pengolahan limbah yang ada pada umumnya menggunakan sistem anaerob dengan efisiensi pengolahan 60%-90%. Dengan sistem pengolahan limbah yang ada, maka limbah yang dibuang ke perairan kadar organiknya (BOD) masih terlampaui yakni sebesar 400 mg/L-1400 mg/L. Untuk itu perlu dilakukan proses lebih lanjut agar kandungan organik limbah cair tempe memenuhi standar buangan ke lingkungan (Said dan Wahjono, 1999). Berikut merupakan data kandungan limbah cair tempe yang dapat dilihat pada Tabel 1.



Tabel 1. Kandungan Limbah Cair Tempe (Wiryani,2007)

NO	Parameter	Satuan	Limbah Cair dari Rendaman Kedelai (Rata-rata)
1	Suhu	°C	32
2	Total Dissolve Solid	mg/l	25.254
3	Total Suspended Solid	mg/l	4,551
4	pH	-	4,16
5	Amoniak Bebas	mg/l	26,7
6	Nitrat	mg/l	14,08
7	Dissolved Oxygen	mg/l	Tidak Terdeteksi
8	Biological Oxygen Demand	mg/l	31.380,87
9	Chemical Oxygen Demand	mg/l	35.398,87

Limbah cair tempe merupakan salah satu limbah yang berpotensi besar dalam media (substrat) perombakan oleh bakteri anaerob. Menurut penelitian yang telah dilakukan Sampe Harahap (2013), bahwa jenis bakteri dominan yang terkandung dalam limbah cair tempe adalah *Clostridium sp.* Bakteri tersebut merupakan bakteri anaerob. Hal ini dapat dimanfaatkan manusia sebagai energi listrik alternatif melalui teknologi *Microbial Fuel Cell*. Teknologi MFC menarik untuk pengolahan limbah karena sistem ini memungkinkan kita untuk mengambil energi dari limbah untuk produksi listrik (Patra, 2008)

Metodologi

Persiapan Alat Dan Bahan Baku

Alat utama penelitian digunakan *chamber* sebagai tempat menampung media limbah dan larutan elektrolit. Elektroda yang digunakan berbahan dasar karbon dengan diameter 0,4 cm dan 0,8 cm. Pembuatan jembatan garam (*salt bridge*) dilakukan dengan merebus sumbu kompor di dalam larutan garam. Jembatan garam memiliki fungsi untuk menjaga kenetralan pada kedua *chamber*. Limbah cair tempe didapat di pabrik tempe Firman. Lokasinya di daerah Tirtomartani, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Kami mengambil bahan baku limbah cair tempe sebanyak 2,4 L, kemudian larutan dibagi menjadi 400 ml dan 800 ml sebagai variabel bebas. Larutan KMnO_4 disiapkan dengan konsentrasi sebesar 0,1N.

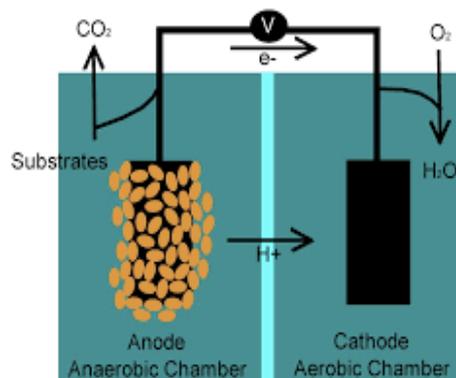
Percobaan Penelitian

Percobaan ini dilakukan dengan memasukkan media limbah cair tempe ke dalam *chamber* sebanyak masing-masing 400 ml dan 800 ml. Menurut penelitian dari Ari Marlina dan Dwi Nirwantoro Nur (2013), mikroba yang dominan di dalam limbah cair tempe adalah mikroba *Clostridium sp.* Larutan elektrolit 0,1N juga diberikan pada volume masing-masing 400 ml dan 800 ml.

Mencatat Hasil Pengamatan

Pengamatan hasil penelitian dilakukan dari jam ke-0 hingga jam ke-6 pada volume limbah cair tempe dan larutan KMnO_4 sebesar 400 ml dan 800 ml. Sedangkan elektroda digunakan variasi diameter 0,4 cm dan 0,8 cm. Hasil pengamatan diamati tegangan dan kuat arus listrik menggunakan multimeter, lalu dilakukan analisa hasil.

Berikut merupakan sketsa rangkaian alat *Microbial Fuel Cell* yang dapat dilihat pada gambar 1.

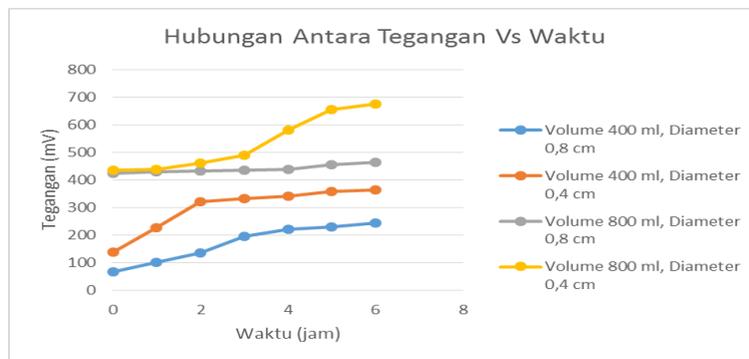


Gambar 1. Rangkaian Alat *Microbial Fuel Cell* (Sumber:

Hasil dan Pembahasan.

1. Uji Analisis Tegangan dan Kuat Arus Listrik Limbah Cair Tempe Pada Volume Limbah 400 mL dan 800 mL

Untuk membandingkan hasil analisis tegangan dan kuat arus listrik dengan variasi volume limbah cair tempe dan diameter elektroda dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Antara Tegangan dan Waktu

Dapat dilihat pada Gambar 2 nilai tegangan tertinggi yaitu pada volume limbah cair tempe 800 mL, diameter elektroda 0,4 cm dan pada jam ke-6 sebesar 675 mV. Semakin lama waktu maka mikroba akan semakin banyak merombak zat-zat organik yang ada dalam limbah cair tempe. Kemudian elektron hasil perombakan disalurkan menuju elektroda secara langsung dan menghasilkan energi listrik. Kenaikan tegangan disebabkan karena mikroba yang merombak zat-zat organik untuk bermetabolisme akan semakin banyak jumlah mikroba yang ada dalam limbah cair tempe., hal ini mengindikasikan masih terdapat zat-zat organik yang belum dirombak. Apabila zat-zat organik semakin berkurang maka tegangan yang dihasilkan semakin turun.

Volume limbah cair tempe sebesar 800 mL menghasilkan tegangan lebih tinggi dibandingkan pada volume 400 mL dikarenakan semakin besar volume limbah cair tempe maka semakin banyak kandungan zat organik, selain itu disebabkan jumlah oksigen yang terkandung pada volume limbah cair tempe 800 mL lebih sedikit dibandingkan dengan volume 400 mL. Hal ini dirasa cukup tepat karena bakteri *Clostridium sp.* merombak zat-zat organik pada kondisi anaerob, artinya bakteri tersebut mampu bermetabolisme lebih baik jika kadar oksigen pada limbah tersebut sedikit.

Elektroda pada diameter 0,4 cm menghasilkan jumlah tegangan yang lebih besar dibandingkan diameter elektroda 0,8 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa porositas yang dimiliki elektroda 0,4 cm lebih besar dibandingkan pada elektroda 0,8 cm, sehingga luas permukaan dan hambatan lebih besar pada diameter elektroda 0,4 cm, hal ini didukung pada persamaan $R \text{ (ohm)} = V \text{ (volt)}/I \text{ (Ampere)}$. kemudian dapat dilakukan perhitungan *Power Density* pada sampel volume limbah cair tempe tertinggi yaitu 800 mL.

2. Hasil Perhitungan *Power Density* (mW/cm^2) Pada Volume Limbah Cair Tempe 800 ml.

Adapun cara menghitung *Power Density* pada volume limbah cair tempe 800 mL adalah sebagai berikut:

$$\text{Power Density} = \frac{V \times I}{A} \quad (1)$$

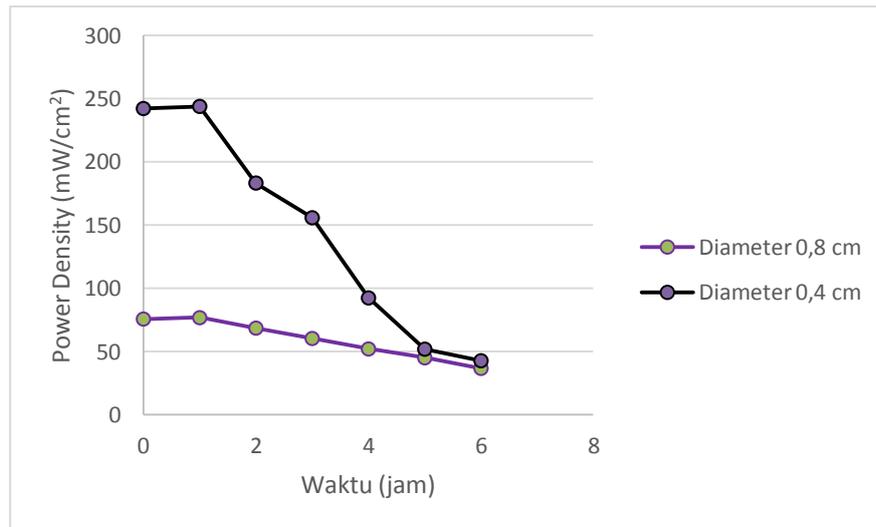
$A = \frac{\pi}{4} D^2$, pada diameter elektroda 0,8 cm maka:

$$\text{Power Density} = \frac{V \times I}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{424 \text{ mV} \times 0,09 \text{ mA}}{\frac{\pi}{4} (0,8 \text{ cm})^2} = 75,95 \text{ mW}/\text{cm}^2$$

Pada diameter elektroda 0,4 cm maka:

$$\text{Power Density} = \frac{V \times I}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{435 \text{ mV} \times 0,07 \text{ mA}}{\frac{\pi}{4} (0,4 \text{ cm})^2} = 242,44 \text{ mW}/\text{cm}^2$$

Untuk membandingkan hasil *Power Density* pada volume limbah cair tempe pada 800 mL dari perbedaan diameter elektroda setiap jam dapat dilihat pada grafik yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Antara *Power Density* dan Waktu

Dapat dilihat pada Gambar 3, *Power Density* tertinggi pada volume limbah cair tempe 800 mL yaitu ketika menggunakan ukuran diameter elektroda 0,4 cm sebesar 244,11 mW/cm² pada jam ke-1. Dan juga *Power Density* pada diameter elektroda 0,4 cm mengalami kenaikan pada jam ke-1, hal ini dikarenakan hambatan pada pori-pori elektroda belum sepenuhnya tertutup. Lalu pada jam ke-2 hingga ke-6 *Power Density* mengalami penurunan dikarenakan porositas elektroda sudah tertutup oleh elektron hasil perombakan mikroba. Sama halnya pada diameter elektroda 0,8 cm, *Power Density* mengalami kenaikan pada jam pertama karena elektron masih belum menempati ruang porositas yang ada pada elektroda tersebut, namun pada jam ke-2 hingga ke-6 *Power Density* mengalami penurunan karena elektron telah menempati ruang pori-pori pada elektroda tersebut.

Kesimpulan.

Dari hasil pengamatan penelitian dapat disimpulkan bahwa:

Limbah cair tempe dapat menghasilkan tegangan listrik dan ini terbukti dengan

1. Hasil voltase tertinggi volume limbah cair tempe 400 ml dan 800 ml ketika waktu inkubasi yaitu pada jam ke-6.
2. Hasil voltase tertinggi yaitu pada volume limbah cair tempe 800 ml dan diameter elektroda 0,4 cm sebesar 675 mV.
3. *Power Density* terbaik pada volume limbah cair tempe 800 ml yaitu pada diameter elektroda 0,4 cm dan jam ke-2 sebesar 244,11 mW/cm².

Daftar Pustaka

- Cheng L et al. Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. Resource in US Journal (Electrochemistry Communications) 2006; Vol.8, 489494.
- Guerero-Larossa A, Scott K, Katari KP, Gordinez C, Head IM, dan Curtis T. Open circuit versus closed circuit enrichment of anodic biofilm in mfc : Effect on performance and anodic communities. Appl Microbiol Biotechnol 2010; 87:1669-1713.
- Harahap, Sampe. Pencemaran perairan akibat kadar amoniak yang tinggi dari limbah cair industri tempe. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Riau. 2013.
- Idham F, Halimi S, dan Latifah S. Alternatif baru sumber pembangkit listrik dengan menggunakan sedimen laut tropika melalui teknologi microbial fuel cell. Teknologi Hasil Perairan Institut. Pertanian Bogor. 2009.
- Kim In S, Kyu Jung Chae, Mi-Jin Choi dan Willy Verstroele. Microbial fuel cells : Recent advance, bacterial communities & application beyond electricity generation. Korean Society of Environmental Engineers 2008.
- Min B, dan Logan BE. Continuous electricity generation from domestic waste water and organic substrates in a flat plate microbial fuel cell. Environ Sci Technol 2004; 38(21),5809-5814.
- Rahimnejad M, Ghoreyshi AA, Najafpour G, & Jafary T. Power generation from organic substrate in batch and continuous flow microbial fuel cell operations. Applied Energy 2011; 88(11), 3999-4004.
- Said NI, dan A Herlambang. Teknologi pengolahan limbah tahu tempe dengan proses biofilter anaerob dan aerob. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta. 2002.



Sumarsih. *Pertumbuhan Mikroba* Bab 1, 2007.

<http://sumarsih07.files.wordpress.com/2008/11/1.pertumbuhan.mikroba.pdf> (diakses pada November 2016)

Yang Jia. Effect of the Pt leading side and cathode biofilm on the performance of a membrane less and single chamber microbial fuel cell. *Bioresource Technology* 2008.

Zahara, Nova Chisilia. Pemanfaatan *saccharomyces cerevisiae* dalam Sistem microbial fuel cell untuk produksi energi listrik. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. 2001.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : **Surianti (Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada)**
Notulen : **Heni Anggorowati (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Zami Furqon (PEM AKAMIGAS, Cepu)
Pertanyaan : Apa jenis anoda dan katoda yang digunakan pada penelitian ini?
Apa alasan pemilihan karbon sebagai elektroda?
Apa jenis bakteri yang terdapat dalam limbah tempe yang digunakan pada penelitian ini?
Jawaban : Anoda dan katoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis karbon
Alasan pemilihan karbon sebagai elektroda karena mempunyai voltase yang besar, mudah didapat dan harganya lebih murah dibandingkan dengan elektroda – elektroda lainnya.
Jenis bakteri yang terdapat dalam limbah tempe tersebut adalah *clostridium sp*
2. Penanya : Muhamad Hambudi Sulendra (Teknik Kimia UPNVY)
Pertanyaan : Apa alasan pemilihan limbah tempe sebagai sumber energi listrik terbarukan?
Jawaban : Karena banyaknya industri tempe skala rumah tangga dan belum ada pengolahan limbahnya.
3. Penanya : Puji Raharjo (Teknik Kimia UPNVY)
Pertanyaan : Bagaimana cara mengetahui adanya bakteri didalam limbah cair tempe?
Jawaban : Cara mengetahui bahwa di dalam limbah cair tempe terdapat bakteri adalah berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa di dalam limbah cair tempe terdapat bakteri *clostridium sp*

