
PERANCANGAN MICROBIAL FUEL CELL (MFC) UNTUK PRODUKSI BIOELETRIK DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI KELAPA SAWIT

Farid Salahudin dan M. Rusdi Hidayat
Baristand Industri Pontinak Jl. Budi Utomo No. 41 Pontianak
E-mail : farid.salahudin@yahoo.com

Dikirim : 30 September 2014, Diterima setelah perbaikan : 12 Desember 2014

ABSTRACT

Microbial Fuel Cell is the one of renewable technology which can produce electric energy from waste and other organic matter. MFC reactor have two part wick called anode and cattode chamber that bonded with cattion exchange membrane. Electric energy in MFC was produced by bio-chemistry reaction in organic matter like palm industrial waste. One of organic matter that pontential in Indonesia is palm industry waste. The aim in this research is to know the potential electric energy in MFC reactor with palm industry waste. The conclusion in this research is MFC with palm industry waste can produced electric energy higher than MFC with 0,5 M glucose solution.

Keywords: *Microbial fuel cell, bioelectric, palm industry waste*

ABSTRAK

Teknologi *fuel cell* saat ini sedang mengalami perkembangan yang sangat signifikan. *Microbial fuel cell* (MFC) merupakan salah satu pengembangan dari teknologi *fuel cell*. MFC adalah suatu teknologi terbarukan dan berkelanjutan yang dapat menghasilkan energi listrik (bioelektrik) dari bahan organik maupun anorganik, termasuk limbah industri dan limbah rumah tangga. Rangkaian MFC terdiri dari ruang anoda dan katoda yang dihubungkan dengan bahan konduktor serta membran kation, MFC menggunakan mikroorganisme sebagai katalisnya. Industri kelapa sawit merupakan industri unggulan di Indonesia yang selain memiliki potensi dalam menghasilkan berbagai produk minyak kelapa sawit, industri ini juga memiliki potensi limbah cairnya yang melimpah untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik menggunakan teknologi MFC ini. Banyaknya faktor yang mempengaruhi produksi listrik pada MFC ini menjadikan teknologi ini belum dapat digunakan secara komersial. Rancangan Microbial Fuel Cell dengan Substrat Limbah cair industri kelapa sawit menghasilkan enenrgi listrik yang lebih besar daripada substrat larutan glukosa 0,5 M

Kata kunci: Microbial fuel cell, bioelektrik, limbah cair, kelapa sawit

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan energi listrik, saat ini dikembangkan berbagai metode untuk membangkitkan energi listrik dengan metode yang mudah dan murah. Kepedulian manusia akan lingkungannya terutama terhadap pemanasan global ikut mendorong perkembangan teknologi yang bukan hanya dapat menghasilkan energi listrik tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi konversi energi serta mengurangi emisi CO₂. Salah satu metode yang mengalami perkembangan cukup signifikan dan mendapat perhatian luas selama beberapa tahun ini adalah teknologi *fuel cell*. (Larminie J dan Dicks A 2003; Lovley 2006).

Salah satu teknologi *fuel cell* yang sangat menjanjikan untuk diterapkan dalam jangka panjang adalah teknologi *biological fuel cell*. Tidak seperti *fuel cell* konvensional, yang menggunakan hidrogen, ethanol, dan methanol sebagai bahan bakar, *biological fuel cell* menggunakan bahan organik atau donor elektron organik untuk kemudian digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan arus listrik. Teknologi *biological fuel cell* ini menggunakan mikroorganisme atau enzim sebagai katalisnya (Shukla 2004).

Microbial Fuel Cells (MFC) adalah perangkat elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan organik menjadi energi listrik dengan bantuan katalis berupa mikroorganisme. MFC terdiri dari ruang anoda dan katoda yang dihubungkan oleh bahan konduktor serta dipisahkan oleh *Proton Exchange Membrane* (PEM). Di dalam ruang anoda, dekomposisi bahan organik secara anaerobik oleh mikroorganisme menghasilkan elektron dan proton. Elektron ditransfer menuju katoda melalui bahan konduktor, sedangkan proton ditransfer melalui PEM. Aliran elektron dan proton inilah yang kemudian menghasilkan arus listrik (Das, 2010).

Pengembangan dan penerapan teknologi MFC sangatlah luas, di masa mendatang diharapkan teknologi ini dapat diterapkan sebagai sumber listrik untuk menjalankan dari mulai peralatan elektronik rumah tangga, alat biosensor, serta alat bioremediasi. Selain itu teknologi MFC ini juga diharapkan dapat di-

jadikan sebagai pembangkit listrik sekaligus sebagai alat pengolahan limbah baik limbah industri maupun limbah rumah tangga sebagai bahan bakunya (Lovley 2006). Saat ini telah banyak dilakukan uji coba penggunaan berbagai macam limbah cair yang digunakan sebagai substrat pada MFC untuk menghasilkan listrik. Limbah cair yang telah diteliti diantaranya limbah cair industri bir, limbah cair industri gula, limbah cair industri susu, limbah rumah tangga, dan limbah cair industri kertas (Mathuriya AS dan Sharma VN 2009); industri bir (Wang X et al 2008); dan industri tapioka (Rachma RM et al 2009)

Industri kelapa sawit merupakan industri unggulan di Indonesia, Dengan proyeksi produksi lebih dari 20 juta ton pada tahun 2010 menjadikan industri ini juga dihindangi masalah dalam pengolahan dan pemanfaatan limbah. Saat ini potensi limbah cair yang berasal dari industri kelapa sawit mencapai 13 juta ton/tahun (Indriyati 2008; Manurung 2009). Penerapan dan pengembangan teknologi MFC untuk pengolahan limbah cair kelapa sawit sekaligus sebagai penghasil listrik perlu dilakukan mengingat prospeknya yang luar biasa sebagai penghasil tenaga listrik di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Limbah cair dari industri kelapa sawit, lumpur aktif dari pabrik kelapa sawit, botol kaca, kaca, karbon sebagai anoda, grafit sebagai Katoda, Proton Exchange Membrane (Nafion¹⁵), kabel tembaga, multimeter, buffer fosfat dan bahan lain sebagai media.

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan mengaklimatisasi limbah cair industri kelapa sawit selama 4 hari. Reaktor MFC disiapkan dengan memasang proton exchange membrane (Nafion 115). Limbah sawit yang sudah diaklimatisasi dimasukkan dalam salah satu bejana MFC dan bejana sebelahnya dimasukkan larutan potassium ferisianida dalam buffer fosfat. Masukkan elektroda karbon pada masing bejana dan disambungkan dengan multimeter. Pengamatan arus dan tegangan listrik yang di-

hasilkan dilakukan setiap selama 3 hari (72 jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Limbah Cair

Hasil dari pengujian limbah cair industri kelapa sawit berupa data yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Limbah Cair Industri Kelapa Sawit

Parameter	Pengujian 1 (mg/L)	Pengujian 2 (mg/L)	Pengujian 3 (mg/L)
BOD	29.120	25.123	28.905
COD	63.864	61.022	59.030
TS	38.822	39.788	37.995
TSS	17.523	18.002	17.950
NH ₃ -N	35	38	34
N	340	351	330

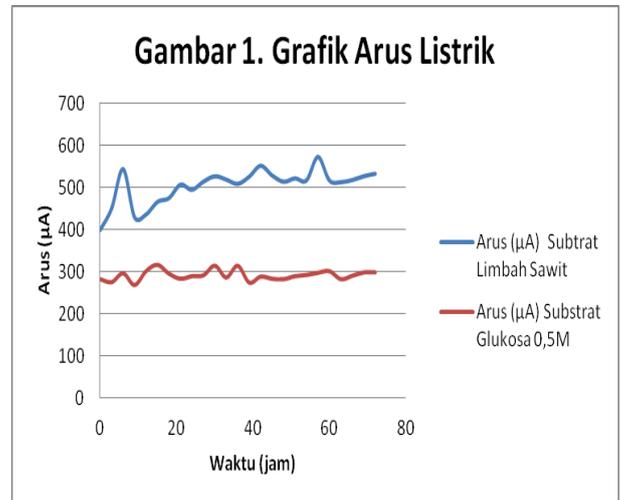
Tabel 2. Hasil Uji Limbah Sawit Penelitian Terdahulu

Parameter	Baranitharan E, (2013)	Igwe JC, (2007)
BOD	27.540	24.000
COD	63.400	60.600
TS	51.690	24.050
TSS	19.570	10.040
NH ₃ -N	40	23
N	850	160

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai BOD dan COD limbah cair kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini relatif sama dengan dua penelitian terdahulu yaitu penelitian Baranitharan (2013) dan Igwe JC (2007). Nilai BOD dan COD merupakan salah satu parameter yang menunjukkan adanya aktivitas biokimia dalam suatu bahan yang pada umumnya akan menghasilkan elektron hasil rekasinya. Hasil uji limbah cair industri kelapa sawit dapat digunakan sebagai tolok ukur awal bahwa limbah ini dapat digunakan sebagai substrat produksi bioelektrik dengan MFC.

Arus Listrik MFC

Hasil penelitian ini adalah data pengukuran kuat arus listrik (Ampere) yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1
Grafik Arus Listrik

Desain reaktor MFC dalam penelitian ini menggunakan sel elektrokimia dengan sistem *dual chamber* yang terdiri dari kompartemen katoda dan kompartemen anoda. Sistem MFC *dual chamber* termasuk system MFC yang paling sering digunakan untuk menguji pengaruh dari kondisi operasi yang divariasikan (Larossa et.al.,2009). Kedua chamber dapat menampung volume larutan (cairan) yang sama yaitu 800 ml. Kedua kompartemen dipisahkan dengan sebuah membrane yaitu *proton exchange membrane* (Nafion 115) yang biasa digunakan dalam penelitian MFC sebagai membrane penukar ion.

Membran penukar ion Nafion 115 yang menjadi pembatas antara anolit dan katolit berfungsi mengalirkan ion H⁺ dari anoda ke katoda. Membran ini merupakan polimer asam perklorosulfonat. Ketika berinteraksi dengan molekul air, asam perklorosulfonat akan melepas ion H⁺ dan terjadi lompatan dari satu molekul sulfonat (SO₃⁻) ke molekul lain seperti elektrolit dalam air (Wagner, 2005).

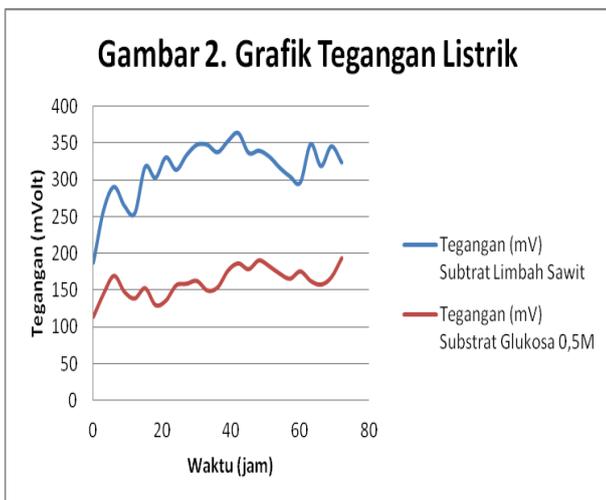
Larutan anolit yang digunakan adalah limbah cair industri sawit dan larutan katolit yaitu potassium ferisianida dalam buffer fosfat. Dalam limbah cair ini dimasukkan lum-

pur aktif pada pengolahan air limbah secara biologis sehingga terjadi proses metabolisme oleh mikroorganisme yang melepaskan ion H^+ (proton) dan elektron. Proton akan melewati membran menuju katoda sedangkan elektron akan keluar melalui sirkuit eksternal yang secara langsung menghasilkan arus listrik. Larutan potasium ferisianida yang mengandung Fe (III) akan mengalami reduksi menjadi Fe(II) oleh elektron yang dihasilkan dari anoda (Liu et.al, 2004, Medigan et.al, 1997).

Gambar 1 menunjukkan bahwa Rancangan MFC dengan substrat limbah cair industri kelapa sawit dan substrat larutan glukosa 0,5 M. MFC dengan substrat limbah cair industri kelapa sawit dapat menghasilkan arus listrik yang lebih besar dibandingkan dengan MFC menggunakan substrat larutan glukosa. Hal ini disebabkan oleh komposisi limbah sawit yang lebih kaya dibandingkan dengan larutan glukosa. Secara umum limbah cair sawit mengandung lemak, protein dan karbohidrat serta bahan-bahan organik yang jumlahnya kecil.

Tegangan Listrik (Voltase)

Hasil dari penelitian ini selain arus listrik juga diukur beda potensial listrik atau tegangan listrik (voltase). Data tegangan listrik yang dihasilkan dari rancangan MFC dengan substrat limbah cair industri kelapa sawit ditampilkan pada Gambar 2.

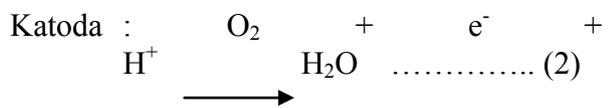
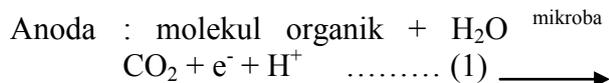


Gambar 2
Grafik Tegangan Listrik

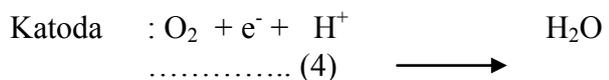
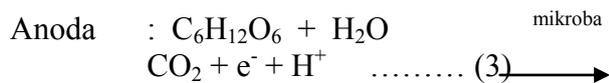
Data penelitian berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa tegangan listrik MFC dengan substrat limbah cair industri sawit relatif lebih besar dibandingkan MFC dengan substrat larutan glukosa 0,5 M. Hal ini karena di dalam limbah cair mengandung lebih banyak bahan organik seperti karbohidrat, lemak dan protein. Dari hasil pengujian kandungan limbah cair diperoleh data yaitu kandungan protein sebesar 6,3%, karbohidrat 8,1% dan lemak 0,8%.

Besar kecilnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh limbah cair industri sawit dipengaruhi oleh konsorsium mikroorganisme yang hidup di dalamnya dan memanfaatkan bahan organik dalam limbah cair. Semakin aktif metabolisme mikroorganisme semakin banyak reaksi perombakan NADH menjadi NAD^+ sehingga ion H^+ dan elektron yang dihasilkan juga semakin besar. Aliran elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik. Disamping jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam limbah, substrat juga mempengaruhi listrik yang dihasilkan unit MFC.

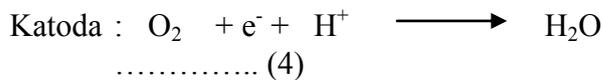
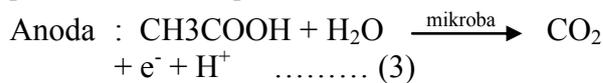
Mikroorganismenya yang hidup dalam anolit membutuhkan asupan makanan yang cukup berupa bahan-bahan organik seperti karbohidrat, lemak, protein dan bahan organik lain. Molekul-molekul organik sumber karbon dan nitrogen akan mengalami oksidasi oleh mikroorganisme yang akan menghasilkan CO_2 , proton dan elektron. Secara umum reaksinya dapat dituliskan pada persamaan 1 dan persamaan 2. :



Karbohidrat akan dirombak menjadi molekul karbohidrat sederhana yaitu monosakarida seperti pada persamaan 3 dan persamaan 4 :



Bahan-bahan organik lain seperti asam asetat akan dirombak oleh mikroorganisme seperti persamaan 5 dan persamaan 6 :

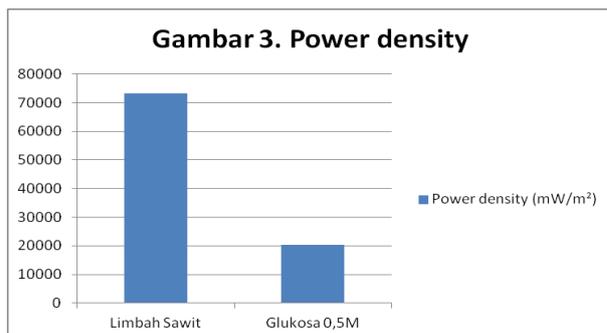


Selain jumlah mikroorganisme yang hidup dalam limbah cair dan substrat yang terkandung di dalamnya keberadaan enzim metabolisme juga sangat mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan oleh unit MFC ini. Secara umum reaksi metabolisme baik dalam mikroorganisme maupun dalam organisme besar selalu melibatkan enzim. Enzim merupakan katalisator reaksi metabolisme yang bertugas mempercepat laju reaksi. Tanpa enzim proses metabolisme tidak dapat terjadi karena keberaneka ragam substrat dan jenis mikroorganisme.

Enzim bersifat spesifik terhadap substrat, jenis reaksi dan mikroorganismenya sehingga dapat dengan tepat mengatur reaksi dalam sel. Karena enzim berupa protein makan sangat rentan terhadap pemanasan. Namun dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi akan memacu laju aktivitas kinerja enzim tersebut. Selain temperatur keasaman (pH) lingkungan juga mempengaruhi aktivitas enzim. Pada temperature dan pH yang tepat aktivitas enzim akan meningkat secara pesat sehingga control dalam reaksi enzimatik sangat diperlukan.

Power Density

Power density merupakan parameter daya listrik per satuan luas membrane. Data Power density listrik dari reaktor MFC dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3
Power Density

Gambar 3 menunjukkan bahwa power density MFC dengan substrat limbah cair industri kelapa sawit relatif lebih besar dibandingkan dengan substrat glukosa 0,5 M. Hal ini dikarenakan kandungan limbah cair industri kelapa sawit yang lebih kaya dengan karbohidrat protein dan lemak dibandingkan dengan larutan glukosa 0,5M. Semakin besar kandungan bahan organik besar juga elektron yang dihasilkan reaksi perombakannya sehingga membuat perbedaan potensial listrik menjadi lebih besar. Hal ini akan meningkatkan arus aliran elektron sehingga meningkatkan arus listriknya. Besarnya perbedaan kandungan elektron akan meningkatkan beda potensial listrik sehingga akan meningkatkan tegangan listriknya. Power density adalah perkalian antara arus listrik (I) dengan tegangan listrik (V) dibagi luas permukaan membran.

$$\text{Power density} = \frac{V \times I}{A}$$

Dimana : V : tegangan listrik (volt)
I : arus listrik (ampere)
A : luas permukaan (m²)

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yaitu MFC *dual chamber* dengan elektroda dan substrat limbah cair industri kelapa sawit dapat menghasilkan listrik yang lebih besar daripada MFC dengan substrat larutan glukosa 0,5 M.

DAFTAR PUSTAKA

- Das S dan Mangwani N. 2010. Recent developments in microbial fuel cells: a review. *J. Scientific and Industrial Res.* 69: 727-731.
- Departemen Perindustrian. 2007. Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit. Pusat Data dan Informasi, Sekretariat Jenderal, Departemen Perindustrian RI.

- Departemen Pertanian. 2005. Prospek Dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa Sawit Di Indonesia. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian RI.
- Indriyati.2008. Potensi industri limbah kelapa sawit di Indonesia. M. Tek. Ling. 4(1): 93-103.
- Larminie J dan Dicks A. 2003. *Fuel Cell System Explained*, 2nd ed. Chichester:John Wiley & Sons Ltd.
- Liu H, Cheng S, Logan BE. 2005. Power generation in fed-batch microbial fuel cell as a function of ionic strength, temperature and reactor configuration. *Journal Environmental Science Technology* 39(14): 5488-5493.
- Liu,Hong., Ramnarayanan, Ramanathan., Logan, Bruce E. 2004. Production of Electricity during Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Environmental Science Technology*. 38 : 2281-2285.
- Logan BE. 2008. Microbial Fuel Cell. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey.
- Lovely DR. 2006. Bug Juice: Harvesting electricity with microorganisms. *J. Nat Rev Microbial* 4:497-508.
- Manurung CN. 2009. Proyeksi produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2006-2010. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Mathuriya AS dan Sharma VN. 2009. Bioelectricity production from various wastewaters through microbial fuel cell technology. *J. Biochem. Tech.* 2 (1): 133-137.
- Rachma RM., Reinaldo V, Muhyinsyah A, Setiadi T. Electricity Generation from Tapioca Wastewater Using a Microbial Fuel Cell (MFC). Proceedings The 7th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, Thailand, October 28-30, 2009, pp. 363-369.
- Shukla AK, Suresh P, Berchmans S, dan Rajendran A. 2004. Biological fuel cells and their applications. *J. Current Science* 87: 455-468.
- Wang X, Feng YJ dan Lee H. 2008. Electricity production from beer brewery wastewater using single chamber microbial fuel cell. *Water Sci. and Tech.* 57(7): 1117-1121