

OP-02

**PENGUNAAN *MICROBIAL FUEL CELL* UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN
MENGUKUR PENURUNAN NILAI *CHEMICAL OXYGEN
DEMAND (COD)***

Rita Arbianti*, Tania Surya Utami, Ester Kristin, Ira Trisnawati, Sekar Puri Hardiyani dan
Astry Eka Citrasari

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424

*Email: arbianti@che.ui.ac.id

ABSTRAK

Microbial Fuel Cell dapat diaplikasikan sebagai sistem pengolahan limbah cair sekaligus memproduksi energi alternatif yang ramah lingkungan. Mikroba yang terkandung dalam limbah cair mampu mendegradasi komponen organik dan mengubahnya menjadi energi listrik. Penelitian ini menggunakan membran less Microbial Fuel Cell dengan volum reaktor 500 mL dan 2000 mL untuk pengolahan limbah cair tempe dengan tujuan menurunkan nilai COD-nya dan penurunan COD diukur dengan metode dichromate COD test. Hambatan luar divariasikan 100 ohm dan 1000 ohm dengan elektrolit ammonium klorida-kalium klorida ($NH_4Cl-KCl$) dan kalium persulfat ($K_2S_2O_8$). Penurunan COD tertinggi pada reaktor 500 mL mencapai 10,79% dengan menggunakan hambatan 1000 ohm, 1 katoda dan elektrolit ammonium klorida-kalium klorida ($NH_4Cl-KCl$). Pada reaktor 2000 mL mencapai 42,97% dengan menggunakan hambatan 100 ohm, 4 katoda dan elektrolit kalium persulfat ($K_2S_2O_8$).

Kata kunci : Microbial Fuel Cell, Limbah Cair Tempe, Penurunan COD, Volum Reaktor, Larutan Elektrolit

1. Pendahuluan

Pengolahan limbah cair konvensional yang sudah ada umumnya membutuhkan energi yang besar sehingga perlu adanya pengembangan teknologi alternatif yang menggunakan energi lebih sedikit untuk operasi dan mampu menghasilkan energi lain yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (Ghangrekar, 2006). Saat ini telah dikembangkan dan sudah umum digunakan pengolahan limbah yang bisa menghasilkan energi listrik seperti proses insenerasi. Namun, produk samping dari proses ini cukup berbahaya bagi lingkungan karena menghasilkan dioksin, gas asam, logam berat dan NO_x . Ketika konsentrasi gas tersebut berada diatas ambang batas maka akan menimbulkan bahaya bagi lingkungan (Niessen, 2002). Akibatnya, proses insinerasi akan menimbulkan masalah lingkungan global dan ketidakamanan energi. Oleh karena itu,

perlu dicari pengolahan limbah yang dapat menghasilkan energi serta bersih dengan produk samping reaksi yang tidak berbahaya.

Microbial Fuel Cell dapat digunakan sebagai biosensor. Jika digunakan untuk pengolahan air limbah, sistem ini mampu menyediakan energi bersih, selain pengolahan yang efektif untuk limbah cair. Kultur mikroba yang digunakan dalam MFC ini memiliki kemampuan untuk menggunakan bahan organik yang ada dalam limbah cair sebagai sumber energi dan menghasilkan elektron dan proton, dimana listrik dapat dihasilkan dengan penambahan elektroda yang tepat.

Limbah cair yang pernah digunakan dalam sistem ini adalah limbah cair pabrik coklat, limbah cair rumah tangga, limbah cair pabrik beer (Wang et al, 2009a). Bahan organik yang umumnya

dicerna oleh kultur mikroba di dalam limbah cair adalah sukrosa (Behera and Ghangrekar, 2009), glukosa, starch (tepung) (Pant et.al., 2009)

Bahan organik yang disebutkan pada paragraf sebelumnya berada dalam limbah cair dalam bentuk COD (*Chemical Oxygen Demand*). COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi. Mikroba akan mendegradasi kandungan COD tersebut sehingga limbah cair akan berkurang kandungan COD-nya.

Ada dua jenis reaktor yang banyak digunakan, yaitu reaktor dua kompartemen yang dipisahkan dengan *Proton Exchange Membran* dan terdiri dari ruang anoda dan katoda yang terpisah dan reaktor satu kompartemen yang telah dikembangkan untuk mengefisienkan desain reaktor MFC (Du, Zhuwei., et. al, 2007). Reaktor satu kompartemen atau *Membran-Less* tidak menggunakan *Proton Exchange Membran* sehingga ruang anoda dan ruang katoda berada dalam satu kompartemen (Du, Zhuwei., et. al, 2007). Penggunaan reaktor satu kompartemen mendukung penggunaan

pada membran (Kristin, 2012). Selain itu, oksigen yang diserap katoda juga akan berdifusi ke ruang anoda yang akan mengkonsumsi elektron yang akan menempel pada anoda. Ketika menggunakan substrat limbah cair oksigen yang berdifusi tersebut dapat di serap oleh bakteri *mixed culture* yang ada pada limbah cair (Chang, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk melihat variabel apa yang paling berpengaruh dalam penurunan COD dengan *Microbial Fuel Cell*. Variabel yang divariasikan adalah, volum reaktor, hambatan eksternal, jumlah katoda, dan elektrolit.

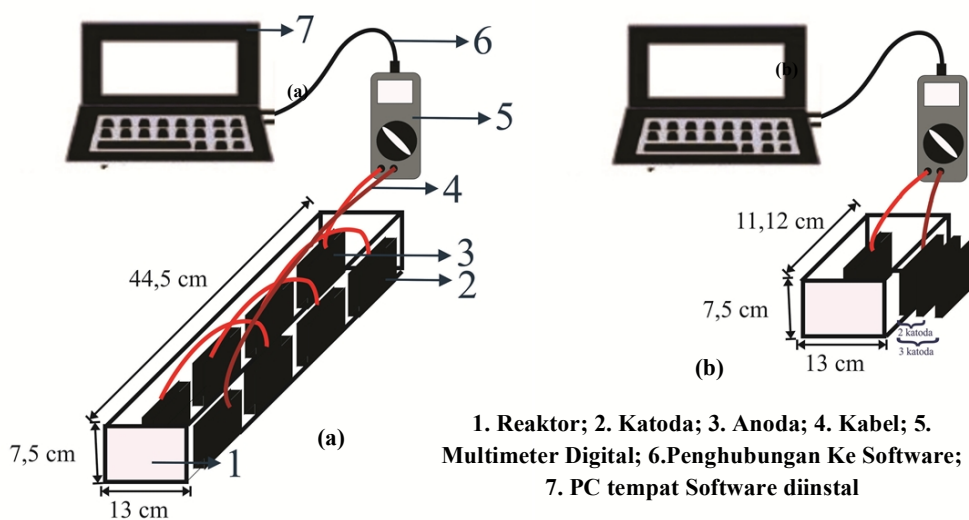
2. Metodologi Penelitian

2.1 Substrat Limbah Cair

Limbah cair tempe (kultur campuran) diinkubasi selama 1 minggu pada suhu 37°C. OD limbah tempe diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 486 nm.

2.2 Kondisi Operasi dan Konstruksi *Microbial Fuel Cell*

Reaktor satu kompartemen dengan ukuran 500 mL dan 2000 mL dengan bahan kaca akrilik. Ruang anoda dan ruang katoda tidak dipisahkan oleh



Gambar 1 Konfigurasi Reaktor (a) 2000 mL (b) 500 mL dengan 1,2 dan 3 katoda

substrat limbah cair karena padatan dalam limbah cair seringkali menempel

membran proton. Elektroda yang digunakan adalah elektroda grafit.

Anoda memiliki luas permukaan aktif 127,75 cm². Katoda yang digunakan adalah *air-cathode* yaitu katoda yang langsung kontak dengan udara luar. Sebelum digunakan elektroda direndam dengan HCl 1 M selama 24 jam dan direndam kembali menggunakan NaOH 1 M selama 24 jam untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada elektroda.

2.4 Eksperimen MFC

Kompartemen diisi dengan limbah cair tempe. Pembuatan limbah cair tempe menggunakan kacang kedelai (*Glycine max*) mengikuti proses perendaman kacang kedelai pada proses pembuatan tempe, yaitu dengan rasio 3:5 (w/v) (Nout et al., 1985). Air rendaman dan rebusan kemudian dibiarkan mendingin dan nilai pH diatur hingga mencapai pH 7 dengan metode titrasi menggunakan NaOH 0,1 M.

Larutan elektrolit dan buffer ditambahkan pada substrat limbah cair tempe tersebut. Larutan elektrolit berupa campuran KH₂PO₄ 0,3 g, NH₄Cl 0,1 g, K₂HPO₄ 1 g dan KCl 0,05 g (Cheng, 2006).

Setelah larutan siap, elektroda yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam alat dan dirangkai menggunakan resistor 100 ohm dan 1000 ohm. Pada rangkaian 100 ohm, jumlah katoda divariasikan dengan 1 buah katoda, 2 buah katoda, 3 buah katoda dan 4 buah katoda. Setiap variabel pada eksperimen ini menggunakan waktu kerja selama 50 jam, konfigurasi reaktor dapat dilihat pada Gambar.1.

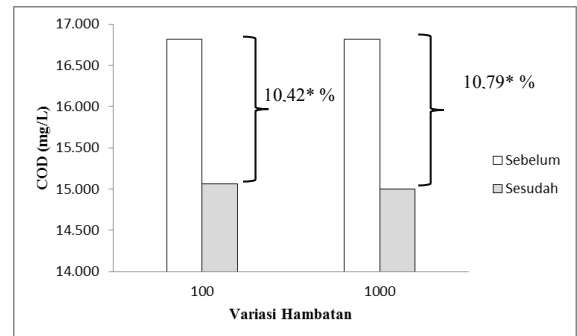
2.3 Analisis COD

Sampel limbah cair tempe sesudah dan sebelum eksperimen diambil sebanyak 2 mL dan dianalisis kandungan COD menggunakan *dichromate COD test* (Boyles, 1997).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Hambatan Eksternal Terhadap Penurunan COD

Variasi hambatan eksternal sebesar 100 dan 1000 ohm dengan reaktor *Membran-Less* MFC 500 mL dilakukan. Nilai penurunan COD dari hasil variasi terdapat pada Grafik.1



*Persentase penurunan COD;

Ket : V reaktor = 500 mL, Elektrolit = Ammonium Klorida-kalium klorida, Jumlah katoda = 1 buah

Grafik 1. Hubungan Variasi Hambatan Luar Dengan Penurunan COD

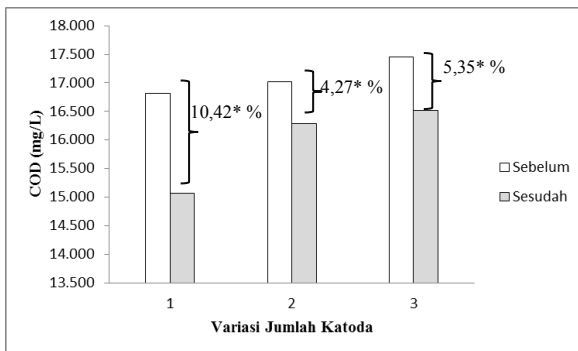
yang diberikan hambatan luar sebesar 100 Ω lebih rendah dibandingkan reaktor MFC yang diberikan hambatan luar 1000 Ω Penurunan kadar COD pada keduanya memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh. Penelitian Lee (2010) menunjukkan bahwa degradasi COD pada hambatan eksternal yang tinggi lebih besar dibandingkan hambatan yang lebih rendah (Lee, 2010). Namun, Katuri (2011) menemukan hasil yang berbeda. Pada penelitiannya dengan menggunakan lima hambatan eksternal berbeda, didapatkan degradasi COD tertinggi justru pada hambatan yang paling kecil, meskipun secara statistika perbedaannya tidak terlalu signifikan. Sementara beberapa peneliti lain menemukan tidak terdapat korelasi yang begitu signifikan antara degradasi substrat dengan hambatan eksternal (Ren., 2011; Min., 2005), dengan kata lain variasi hambatan eksternal tidak memberikan pengaruh yang begitu berarti pada degradasi COD. Oleh karena itu, variasi selanjutnya menggunakan resistor 100 Ω .

3.2 Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Terhadap Penurunan COD

Variasi jumlah katoda dengan resistor 100 Ω dilakukan dengan reaktor *Membran-Less* MFC 500 mL. Nilai

penurunan COD dari hasil variasi dapat dilihat pada Grafik 2.

Variasi jumlah katoda 1, 2 dan 3 masing-masing memberikan persentase penurunan COD sebesar 10,42 %, 4,27 % dan 5,35 %. Berdasarkan penelitian Cheng (2006) semakin besar luas permukaan maka listrik yang dihasilkan semakin besar. Sedangkan, listrik yang dihasilkan adalah indikasi dari berkurangnya COD karena telah didegradasi oleh mikroba. Oleh karena itu, semakin besar luas permukaan maka penurunan COD juga semakin besar (Ghangrekar, 2006). Dalam percobaan ini, penurunan COD meningkat ketika ukuran katoda berada pada penggunaan 2 katoda dan 3 katoda



*Persentase penurunan COD;
Ket : V reaktor = 500 mL, Elektrolit = Ammonium Klorida-kalium klorida, Hambatan luar : 100 ohm

Grafik 2 Hubungan Variasi Jumlah Katoda Dengan Penurunan COD

Penyimpangan terjadi pada percobaan dengan 1 katoda, percobaan ini memiliki nilai penurunan COD tertinggi karena waktu retensinya lebih lama dibanding ukuran katoda yang lainnya.

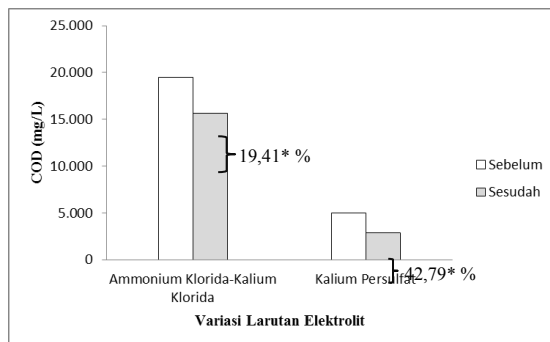
Faktor yang mempengaruhi besarnya penurunan kadar COD dalam limbah dengan sistem MFC yaitu waktu retensi. (Rahimnejad et al, 2011) Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, waktu siklus pada masing-masing perlakuan dalam seluruh variasi yang dijalankan pada penelitian ini memiliki perbedaan. Waktu siklus MFC dengan 1 katoda ialah 160 jam sementara waktu siklus MFC dengan 2 dan 3 katoda hanya berjalan selama 50 jam. Sehingga

penurunan COD pada percobaan menggunakan 1 katoda lebih besar.

Panjang waktu siklus dapat diartikan sebagai stabilitas hidup mikroorganisme dalam suatu substrat (Rahimnejad et al., 2011). Waktu siklus yang panjang mungkin berarti stabilitas hidup mikroorganisme tersebut telah cukup baik. Mikroorganisme tersebut memiliki laju perkembangbiakan yang stabil sehingga waktu hidup koloninya menjadi semakin panjang. Hal ini berarti semakin banyak pula senyawa organik yang dikonsumsi oleh koloni mikroorganisme tersebut secara terus menerus hingga koloni tersebut mengalami kematian secara keseluruhan. Terlebih lagi mikroorganisme yang terdapat dalam limbah tidak hanya merupakan satu jenis mikroba, tapi merupakan mixed-culture sehingga laju metabolismenya tidak mudah ditentukan dengan rinci.

3.3 Pengaruh Larutan Elektrolit Terhadap Penurunan COD Pada Reaktor 2000 mL

Variasi larutan elektrolit ammonium klorida dan kalium persulfat dilakukan pada percobaan ini. Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa penurunan COD terbesar didapat ketika menggunakan kalium persulfat sebagai elektrolit pada reaktor 2000 mL. Nilai penurunan COD dari hasil variasi terdapat pada Grafik.3



*Persentase penurunan COD;
Ket : V reaktor = 2000 mL, Hambatan luar : 100 ohm, Jumlah Katoda = 4 buah

Grafik 3 Hubungan Larutan Elektrolit Dengan Penurunan COD

Penurunan kadar COD mencapai 42,97%. Hal ini terjadi akibat kekuatan

ion yang dimiliki oleh kalium persulfat lebih besar dari ammonium klorida-kalium klorida sehingga pertumbuhan bakteri semakin cepat akibat besarnya kekuatan ion tersebut (Kubota, 2010). Ketika bakteri yang berada dalam limbah jumlahnya semakin banyak maka COD yang dikonsumsi juga semakin banyak sehingga penurunan menjadi besar. Dengan konsentrasi 30 mM, kekuatan ion milik kalium persulfat adalah 0,075 dan kekuatan ion milik ammonium klorida-kalium klorida hanya 0,03 (Lenntech, 2014).

4.Simpulan

Penurunan kandungan COD dalam limbah cair tempe dengan menggunakan *Membran-Less* MFC telah berhasil dilakukan. Faktor yang mempengaruhi penurunan COD pada *Membran-Less* MFC adalah besar volume reaktor, besar hambatan luar, jumlah katoda yang dipakai serta jenis elektrolit yang digunakan. Dari faktor-faktor tersebut yang paling memberi pengaruh signifikan pada reaktor 500 mL adalah kondisi menggunakan hambatan 1000 ohm, 1 katoda dan elektrolit ammonium klorida-kalium klorida (NH₄Cl-KCl) dengan penurunan COD tertinggi pada reaktor 500 mL mencapai 10,79%. Pada reaktor 2000 mL, jenis elektrolit kalium persulfat mencapai penurunan terbesar, yaitu 42,97 % dengan hambatan 100 ohm serta 4 buah katoda.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI (Direktorat Pendidikan Tinggi) atas dukungan dana untuk penelitian ini pada tahun 2014 No. 0275/E5.1/PE/2014.

Daftar Pustaka

Behera and Ghangrekar. 2009. "Performance and economics of low cost clay cylinder microbial fuel cell for wastewater treatment". World Renewable Energy Congress.

Boyles, Wayne.(1997).The Science of Chemical Oxygen Demand.Hach Company USA.

Chang, In Seop., Moon, Hyunso., Bretschger, Orianna., Jang, Jae Kyung., Park, Ho Il., Nealsom, Kenneth H., Kim, Byung Hong.(2006). Electrochemically Active Bacteria and Mediator-Less MFC resource in US Journal (Microbiol Biotechnology), Vol.16, 163-177

Cheng, L, et al., (2006). Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure, resource in US Journal (Electrochemistry Communications). Vol.8, 489-494.

Du, Zhuwei., Haoran Li., Tingyue Gu.(2007). A state of the art review on microbial fuel cell: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. resources in US Journal (Biotechnology Advances),Vol. 25, 464-482.

Ghangrekar, M M.,Shinde, V B.(2006). Wastewater Treatment in Microbial Fuel Cell and Electricity Generation : A Sustainable Approach. 12th international sustainable development research conference. Vol. 283440 : 1-9

Katuri, K. P., Scott, K., Head, I. M., Picioreanu, C., & Curtis, T. P. (2011). Bioresource Technology Microbial fuel cells meet with external resistance. *Bioresource Technology*, 102(3), 2758–2766. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.147

Kubota, Keiichi., Yoochatchaval, Wilasinee., Yamaguchi, Takashi., Syutsubo, Kazuaki. (2010).Application of A Singel Chamber MFC For Organic Wastewater Treatment : Influence

- of Changes In Wastewater Composition On The Process resources in US Journal (Sustain, Environ, Res), Vol.20, 347-351
- Lee, C.Y., Chen, J.H., Cai, Y.Y.(2010). Bioelectricity Generation and Organic Removal In Microbial Fuel Cells Used for Treatment of Wastewater from Fish-Market. (J. Environ. Eng), Vol. 20(3),173-180.
- Lenntech. (2014).Water Treatment Solution.Netherland
- Min, B., Kim, J., Oh, S., Regan, J. M., & Logan, B. E. (2005). Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells, *39*, 4961–4968.
doi:10.1016/j.watres.2005.09.039
- Niessen, Walter R.(2002).Combustion And Inceneration Process.Marcel Dekker Inc.New York
- Pant, Deepak., Bogaert, Gilbert Van Diels., Ludo Vanbroekhoven., and Karolien.(2010).A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production resource in US.Journal (Bioresource technology) Vol.101.1533-1534.
- Rahimnejad, M., Ghoreyshi, A. A., Najafpour, G., & Jafary, T. (2011). Power generation from organic substrate in batch and continuous flow microbial fuel cell operations. *Applied Energy*, *88*(11), 3999–4004.
doi:10.1016/j.apenergy.2011.04.017
- Ren, Z., Ramasamy, R. P., Cloud-Owen, S. R., Yan, H., Mench, M. M., & Regan, J. M. (2011). Time-course correlation of biofilm properties and electrochemical performance in single-chamber microbial fuel cells. *Bioresource technology*, *102*(1), 416–21.
doi:10.1016/j.biortech.2010.06.003
- Ren, Z., Yan, H., Wang, W., Mench, M. M., & Regan, J. M. (2011). Characterization of Microbial Fuel Cells at Microbially and Electrochemically Meaningful Time scales, 2435–2441.
- Wang, X, Feng, Y J, Lee, and H. (2008). Electricity production from beer brewery wastewater using single chamber microbial fuel cell resource in US Journal (Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research), Vol.57, 1117-1121