

Pengolahan Air Limbah Industri Tahu menggunakan Sistem *Double Chamber Microbial Fuel Cell*

KHANIGIA VANESSA HERMAWAN¹, DJAENUDIN², M. RANGGA SURURI³

Jurusan Teknik Lingkungan (Institut Teknologi Nasional Bandung)
Email: khanigia_vanessa@yahoo.com

Abstrak

Air limbah industri tahu memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi. Tanpa proses penanganan yang baik, limbah tahu menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk menurunkan kandungan organik yang terdapat pada air limbah tahu dengan menggunakan sistem Double Chamber Microbial Fuel Cell (DCMFC). DCMFC adalah suatu metode pengolahan limbah dengan memanfaatkan aktifitas mikroba untuk mengkonversi bahan organik sekaligus memproduksi listrik. Sistem ini menggunakan endogenus dalam air limbah tahu. Percobaan dilakukan selama 48 jam dengan pengukuran terhadap V, I dan pH setiap 4 jam sekali, Biological Oxygen Demand (BOD₅) dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada awal dan akhir pengolahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses DCMFC yang berlangsung selama 48 jam memiliki efisiensi penyisihan Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) sebesar 28,9% dan Chemical Oxygen Demand (COD) sebesar 28% dan juga menghasilkan potensial listrik sebesar 0,620 V dan kuat arus sebesar 0,08 A.

Kata kunci: air limbah tahu, Double Chamber Microbial Fuel Cell, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand.

ABSTRACT

Tofu industrial wastewater has a high organic matter content. Without properly handling process, the waste out causing negative impacts on the environment. This research aims is to reduce the organic content at waste water out using a system Double Chamber Microbial Fuel Cell (DCMFC). MFC is a method of wastewater treatment by utilizing microbial activity to minimize waste as well as producing electricity. This system use the endogenous of tofu industrial wastewater. The experiments were conducted for 48 hours with the measurement of V, I and pH every 4 hours, Biological Oxygen Demand (BOD₅) and Chemical Oxygen Demand (COD) at the beginning and end of the processing. The results showed that the process DCMFC which lasted for 48 hours has a removal efficiency of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) of 28.9% and Chemical Oxygen Demand (COD) by 28% and also generate an electric potential of 0.620 V and a current of 0.08 A.

Keywords: wastewater of tofu industries, Double Chamber Microbial Fuel Cell, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand.

1. PENDAHULUAN

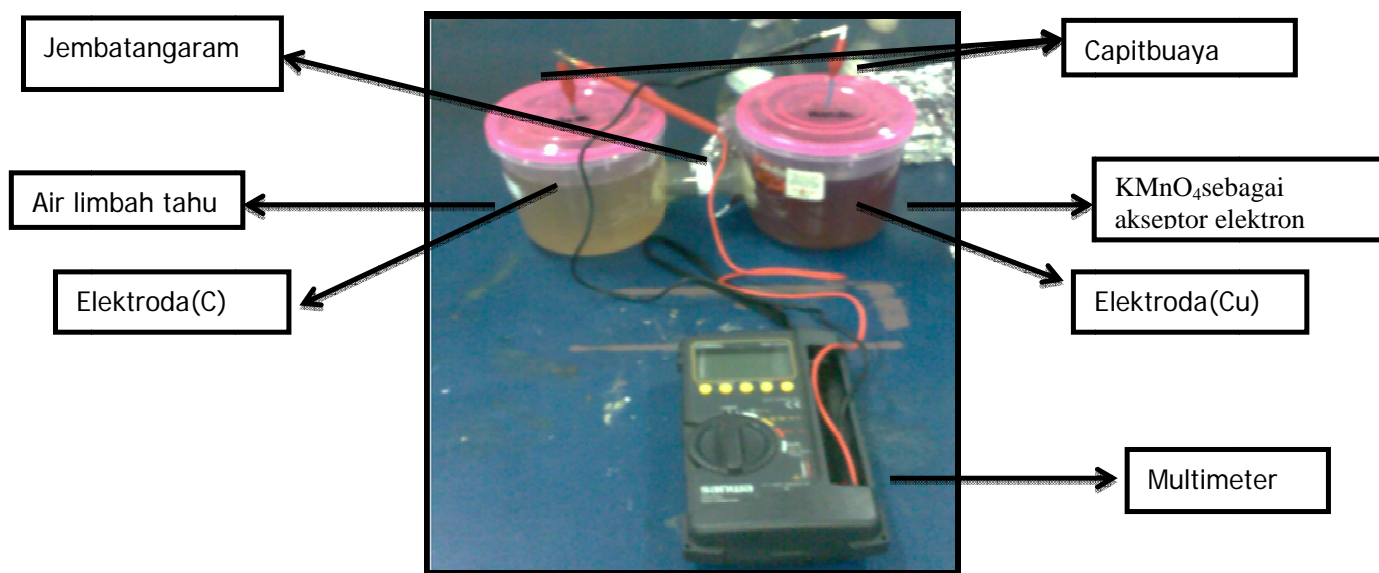
Indonesia memiliki beragam sektor industri yang dominan bergerak bagi pemenuhan kebutuhan pokok masyarakat dibandingkan dengan sektor industri lain (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia ,2012), salah satu adalah industri pangan yang sedang berkembang di beberapa kota di Indonesia termasuk di kota Bandung adalah industri pembuatan tahu. Limbah cair pabrik tahu memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi mencapai 40% - 60% protein, 25% - 50% karbohidrat, dan 10% lemak sehingga menyebabkan limbah cair tahu mengandung BOD, COD dan TSS yang tinggi. Sehingga apabila dibuang ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran (Pohan,2008). Karena suhuair limbah tahu yang panas dapat menyebabkan peningkatan suhu di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas serta tegangan permukaan. Unit pengolahan air limbah diharapkan dapat menjadi solusi penanganan masalah lingkungan sebagai upaya untuk mencegah dampak negatif pencemaran air limbah. Akan tetapi, dana perusahaan yang terbatas kerap kali menjadi suatu permasalahan karena semakin mahalnya biaya pengolahan dan pembuangan air limbah serta biaya pembangunan, pemeliharaan fasilitas bangunan air limbah. Salah satu penanganan limbah cair yang mempunyai kandungan organik yang tinggi seperti limbah tahu dengan menggunakan metode *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC suatu metode pengolahan limbah dengan memanfaatkan aktifitas mikroba untuk meminimasi limbah sekaligus memproduksi listrik (Logan *et al.*, 2005).

Sebuah penelitian menggunakan aplikasi MFC terhadap air limbah pengolahan makanan yang diambil dari unit pemrosesan sereal didapatkan nilai COD awal yang tinggi 8920 ± 152 mg/L. Setelah sampel diproses kembali dengan MFC terlihat penurunan nilai menjadi 735 ± 15 mg/ (Logan *et al.*, 2005). MFC dengan sistem anaerobik menggunakan kalium permanganat (KMnO_4) sebagai akseptor elektron, bertujuan untuk meningkatkan perolehan energi listrik oleh konsorsium mikroba dengan pengukuran secara seri. Berdasarkan hasil penelitian tersebut telah terbukti adanya potensi pemanfaatan limbah organik.

MFC terdiri dari ruang anodik dan katodik yang dihubungkan dengan membran pertukaran proton. Pada bagian anoda, substrat akan dioksidasi oleh mikroorganisme dan menghasilkan elektron serta proton. Elektron akan dipindahkan ke bagian katoda melalui sirkuit listrik dan proton dipindahkan ke membran. Elektron dan proton digunakan di katoda, digabungkan dengan oksigen untuk membentuk air. (Rabaey *et al.*, 2005). Desain *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang digunakan adalah *Double Chamber Microbial Fuel Cell*. Substrat yang digunakan air limbah tahu yang disimpan pada ruang anoda dan pada ruang katoda disimpan larutan KMnO_4 sebagai akseptor elektron. Tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui kinerja optimum dari *Double Chamber Microbial Fuel Cell* dalam menurunkan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD_5) yang terdapat pada air limbah tahu. Penerapan MFC pada limbah industri tahu diharapkan dapat dijadikan solusi alternatif sebagai pengolahan air limbah yang mengandung organik tinggi, disamping itu dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik alternatif terbarukan (renewable).

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Bidang Teknologi Lingkungan Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung. Rangkaian reaktor DCMFC terdiri dari ruang anoda, ruang katoda dan membran penukar kation. Reaktor dibuat dengan menggunakan jembatan garam (NaCl) sebagai membran penukar kation. Elektroda yang digunakan pada anoda adalah karbon, pada anoda disimpan air limbah dan pada katoda disimpan larutan kalium permanganat (KMnO₄) dengan tembaga sebagai elektroda. Larutan kalium permanganat (KMnO₄) pada proses DCMFC sebagai akseptor elektron. Reaktor DCMFC dapat dilihat pada gambar 1. Mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah *endogenous* dalam air limbah tahu.



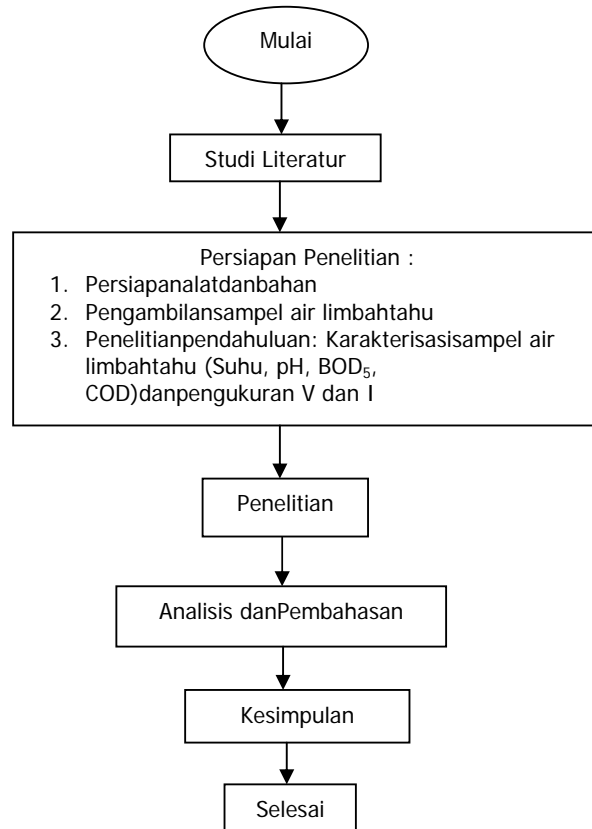
Gambar 1. Reaktor Double Chamber Microbial Fuel Cell

Reaktor DCMFC dibuat dengan menggunakan dua buah wadah berbahan plastik yang masing-masing bervolume 600 ml yang disambungkan dengan jembatan garam sebagai media penukar proton. Elektroda anoda adalah karbon (C) dengan luas 40 cm² yang disimpan pada air limbah tahu sedangkan elektroda katoda adalah tembaga (Cu) dengan luas 40 cm² yang disimpan pada larutan kalium permanganat. Percobaan dilakukan selama 48 jam. Peneliti dilakukan dengan menggunakan 600 mL sampel air limbah tahu. Suhu yang digunakan ialah suhu ruang yaitu ±25 °C. Parameter yang diukur dan metode yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Bagan alir dari penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1 Parameter Yang Diukur

Parameter Yang Diukur	Pengukuran	Metode Yang Digunakan
Chemical Oxygen Demand (COD)	Awal dan akhir pengolahan	SNI 6989.73:2009 dengan metode refluks tertutup secara titrimetri
Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	Awal dan akhir pengolahan	SNI 6989.72:2009 dengan metode titrasi winkler (iodometri)
pH	4 jam sekali	SNI 06-6989.11-2004 dengan metode pH meter

Tegangan (V) dan Kuat Arus (I)	4 jam sekali	multimeter
--------------------------------	--------------	------------



Gambar 2. Bagan Alir Metodologi Penelitian

3. ISI

3.1 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu

Karakteristik air limbah industri tahu yang digunakan pada percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu

No	Parameter	Unit	Konsentrasi	Baku Mutu
1	BOD ₅	mg/L	6.400	150
2	COD	mg/L	8.000	300
3	pH	-	4	6,0 – 9,0

Sumber: Hasil Penelitian, 2013. Baku mutu: KEP-51/MENLH/10/1995 golongan II.

Air limbah industri tahu yang digunakan memiliki konsentrasi BOD₅, COD dan pH yang melebihi ambang batas baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri yang

tercantum pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk menyesuaikan konsentrasi pH, BOD₅ serta COD yang sesuai dengan standar baku mutu. Parameter yang diperhatikan adalah pH, BOD₅ dan COD karena merupakan parameter pencemar yang umum untuk efisiensi pengolahan air limbah yang lebih lanjut juga berarti berperan penting dalam penentuan tingkat pencemaran perairan.

3.3 Penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD merupakan salah satu parameter indikator penting untuk pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik, keberadaan COD di dalam lingkungan sangat ditentukan oleh limbah organik, baik yang berasal dari limbah rumah tangga maupun industri. Secara umum nilai COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Tabel 3 merupakan nilai konsentrasi dan efisiensi penurunan COD sebelum dan sesudah melalui pengolahan DCMFC selama 48 jam.

Tabel 3 Analisa Pengukuran COD

Jam	<i>Endogenous</i> dalam Air Limbah Tahu (mg/L)	*Baku Mutu (mg/L)
0	8.000 [~]	
48	5770 [~]	300
Efisiensi Penyisihan	28%	

Sumber : Hasil Pengukuran 2013

Keterangan : [~] tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan

*KepMenLH no 51 Tahun 1995 Tentang Baku Mutu Untuk Limbah Cair Industri

Dapat dilihat efisiensi penurunan nilai COD *endogenous* dalam air limbah tahu sebesar 28% hal ini dikarenakan kemampuan *endogenous* dalam air limbah tahu untuk memecah kandungan organik yang terdapat dalam air limbah tahu sangat rendah. Adanya mikroba yang mengoksidasi materi organik yang digunakan sebagai substrat atau nutrisi mengakibatkan penurunan bahan organik sekaligus berkurangnya atau menurunnya kadar COD. Bila dibandingkan dengan standar baku mutu menurut KepMenLH No. Kep-51/MENLH/10/1995 Kep- 51/MENLH /10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Industri untuk golongan II tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, konsentrasi maksimum COD yang diizinkan untuk dibuang ke perairan umum/sumber air ialah 300 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh nilai COD air limbah tahu dengan pengolahan DCMFC belum memenuhi standar baku mutu. Penurunan COD seharusnya 96,25% agar memenuhi baku mutu. Penelitian terhadap air limbah pengolahan makanan yang diambil dari unit pemrosesan sereal didapatkan nilai awal COD yang tinggi yaitu 8920 ± 152 mg/L (Logan *et al.*, 2005) penurunan yang terjadi sebesar 8768 mg/L hal ini dikarenakan pada air limbah pemrosesan sereal memiliki kandungan glukosa yang sangat tinggi sebesar 80% dari kandungan air limbah pemrosesan sereal, sehingga *endogenous* yang terdapat pada air limbah tersebut dapat mengoksidasi glukosa lebih banyak sedangkan pada air limbah tahu kandungan glukosanya sebesar 50% dari kandungan air limbah tahu.

3.4 Penurunan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD₅)

BOD merupakan parameter untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis di dalam limbah cair. Bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*) (Boyd., 1990), secara biologis dalam air. Hasil percobaan yang dinyatakan dalam hasil pengukuran kualitas BOD₅ sebelum dan sesudah melalui pengolahan DCMFC selama 48 jam untuk masing-masing variasi mikroba dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Analisa Pengukuran BOD₅

Jam	<i>endogenous</i> dalam Air LimbahTahu (mg/L)	*Baku Mutu (mg/L)
0	6.400 [~]	
48	4550 [~]	150
EfisiensiPenyisihan	28,9%	

Sumber : Hasil Pengukuran 2013

Keterangan : [~] tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan

* KepMenLH no 51 Tahun 1995 Tentang Baku Mutu Untuk Limbah Cair Industri

Efisiensi penurunan BOD₅ *endogenous* dalam air limbah tahu yaitu sebesar 28,9%. Penurunan konsentrasi BOD₅ disebabkan karena adanya aktivitas mikroorganisme sehingga terjadi penguraian materi organik oleh mikroorganisme dalam air limbah tahu yang digunakan sebagai substrat atau nutrisi. Efisiensi penyisihan BOD₅ ialah sebesar 28,9%. Setelah dibandingkan dengan standar baku mutu menurut KepMenLH No. Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, nilai BOD₅ belum memenuhi standar baku mutu. Penurunan BOD seharusnya 97,65% agar memenuhi baku mutu.

3.5 Tingkat Keasaman (pH)

Aktivitas mikroorganisme secara signifikan dipengaruhi oleh pH, pH adalah parameter untuk mengetahui intensitas tingkat keasaman/kebiasaan dari suatu larutan yang dinyatakan dengan konsentrasi ion hidrogen terlarut. Nilai pH merupakan faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim, dimana aktivitas enzim ini akan maksimum pada kondisi pH optimum. Nilai pH sel mikroorganisme dipengaruhi oleh pH lingkungan dimana mikroorganisme tersebut hidup. Beberapa mikroorganisme memiliki mekanisme untuk mempertahankan pH intraselularnya pada pH yang relatif konstan dalam kondisi pH lingkungan yang berfluktuasi dan tambah pada kondisi asam maupun basa. Pada umumnya bakteri hidup pada pH 6,5-7,5 (Benfield dan Randall, 1980). Perubahan pH dapat dilihat pada Tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5 Hasil Pengukuran Parameter pH air limbah

pH awal	pH akhir
---------	----------

4,47	4,64
------	------

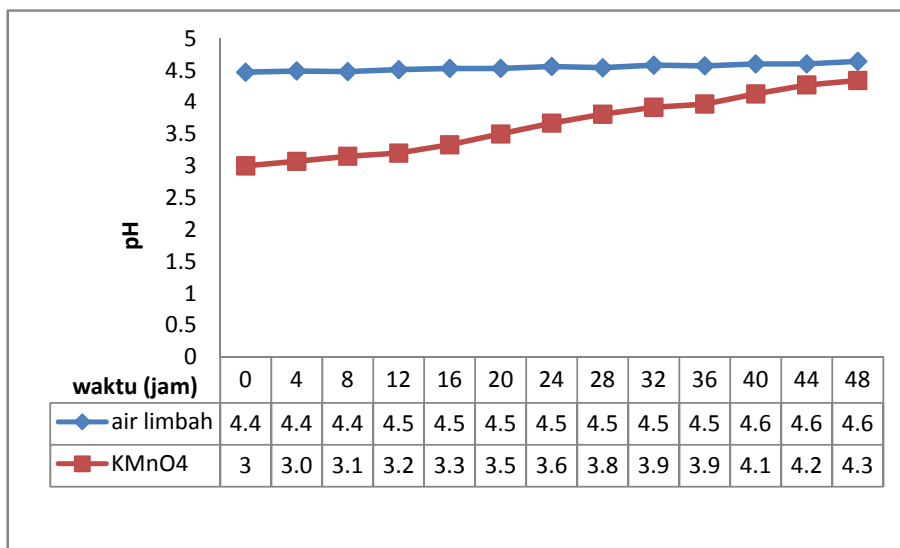
Sumber: Hasil Penelitian, 2013.

Tabel 6 Hasil Pengukuran Parameter pH KMnO₄

pH awal	pH akhir
3,00	4,34

Sumber: Hasil Penelitian, 2013.

Seiring bertambahnya waktu reaksi, diikuti pula dengan kenaikan pH. Hal ini disebabkan karena proses degradasi bahan organik (karbohidrat, protein dan lemak) oleh mikroba akan menghasilkan ion H⁺ (proton) dan elektron. Kenaikan pH pada air limbah disebabkan oleh adanya H⁺ yang mengalir secara kontinyu ke katoda sehingga di anoda lambat laun kekurangan ion H⁺ akibatnya pH menjadi naik. Sedangkan di katoda H⁺ yang berasal dari anoda bereaksi menghasilkan OH⁻ sehingga pH KMnO₄ (katoda) menjadi naik. Oleh karena itu, kenaikan nilai pH air limbah tahu meningkat di akhir pengukuran meski tidak signifikan. Hal ini sesuai dengan teori Foster (1957) yang mendefinisikan pH sebagai nilai logaritma aktivitas ion hidrogen (H⁺) yang terlarut. Makin besar konsentrasi ion H⁺ (makin asam larutan) maka makin kecil nilai pH-nya, dan begitu juga sebaliknya. Grafik perubahan nilai pH dapat dilihat pada Gambar 3.

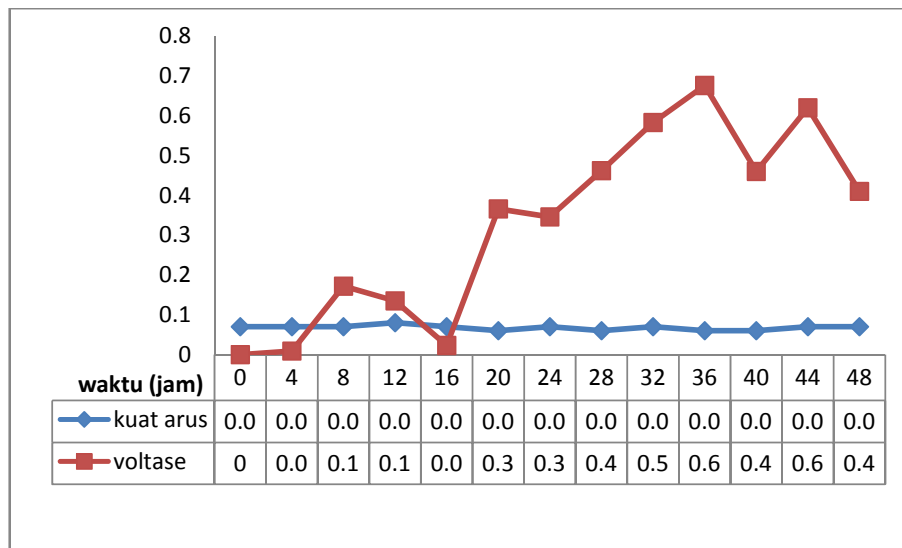


Gambar 3. Hubungan Waktu Reaksi Terhadap pH

3.5 Pengukuran Potensial Listrik

Beda potensial (V) dan kuat arus (I) diukur karena keduanya merupakan indikator adanya listrik. Tegangan erat kaitannya dengan energi listrik yang merupakan produk utama dari sistem MFC ini, sehingga apabila tegangan semakin tinggi maka kinerja MFC pun semakin baik. Pengamatan terhadap tegangan

dilakukan setiap 4 jam selama 48 jam proses MFC. Arus listrik merupakan pergerakan muatan listrik di dalam suatu penghantar pada arah tertentu. Keberadaan *endogenous* dalam air limbah tahi yang merupakan pereduksi pada MFC sangat erat kaitannya dengan arus yang dihasilkan sistem MFC. Jika konsentrasi *endogenous* dalam air limbah tahi yang digunakan ini makin besar maka banyaknya elektron yang terlepas dari proses oksidasi glukosa pun semakin banyak. Namun, setelah mencapai konsentrasi optimum, elektron yang dihasilkan akan turun karena konsentrasi yang lebih tinggi mikroorganisme bersaing menggunakan glukosa untuk proses pertumbuhannya. Dapat dilihat nilai maksimum kuat arus (I) yang dihasilkan adalah 0,08 mA dan nilai maksimum voltase (V) yang dihasilkan adalah 0,676 V. nilai voltase dan kuat arus yang dihasilkan dari sistem DCMFC dapat dilihat pada grafik dalam gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Waktu Reaksi Terhadap V dan I

4. KESIMPULAN

Hasil yang didapat pada pengolahan air limbah tahi menggunakan sistem DCMFC dengan menggunakan 600 mL sampel air limbah tahi menunjukkan efisiensi penyisihan COD pada air limbah tahi sebesar 28% dan efisiensi penyisihan BOD_5 sebesar 28,9%. Besarnya tegangan maksimal yang terukur dengan sistem DCMFC adalah 0,676 V dan kuat arus yang terukur adalah 0,08 mA. Setelah dibandingkan dengan standar baku mutu menurut KepMenLH No. Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, nilai konsentrasi parameter BOD_5 dan COD belum memenuhi standar baku mutu. Sebaiknya dilakukan pengolahan tambahan setelah sistem DCMFC ini agar nilai COD dan BOD_5 dapat memenuhi baku mutu.

DAFTAR RUJUKAN

- Pohan. N., 2008, Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Proses Biofilter Aerobik, Universitas Sumatera Utara, Medan BPPI. (1986). *Teknologi Pengelolaan Air Buangan*
- Logan. B. E and Oh. S., 2005, Hydrogen and Electricity Production a Food Processing Wastewater Using fermentation and Microbial Fuel Cell, Department of Civil and Environmental Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, USA 4678-4682.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.
- Metcalf & Eddy, INC. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Liu, H and Logan B. E. (2004). *Electricity Generation Using an Air Cathode Single Chamber Microbial Fuel Cell in the Presence and Absence of a Proton Exchange Membrane*. Environmental Science and Technology.
- SNI 6989.72:2009. Cara uji *Biochemical Oxygen Demand* (BOD).
- SNI 6989.73:2009. Cara uji *Chemical Oxygen Demand* (COD).
- SNI 06-6989.11-2004. Cara uji derajat keasaman (pH).