

PENGARUH VARIASI DEBIT DAN KONSENTRASI LARUTAN ELEKTROLIT (KMnO_4) TERHADAP PENURUNAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* DAN PRODUKSI LISTRIK DI DALAM REAKTOR *MICROBIAL FUEL CELLS* STUDI KASUS: AIR LIMBAH RPH KOTA SALATIGA

Rachmad Ardhiyanto, Ganjar Samudro*, Mochtar Hadiwidodo*
*(Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro)

ABSTRACT

Animal wastewater has high organic matter. The highest of this pollute are liquid blood, residual grease, fecal, rumen and intestinal contents that can contaminate environment if not processed first. In this research, using system of microbial fuel cells dual chamber method to treatment animal wastewater to degrade chemical oxygen demand and to produce generation electricity. This system using variation of flow rate, carbon electrode, electrolyte solution of KmnO_4 as acceptor electron, and (NaCl) as salt bridges for cation exchanger. Variation of flow rate in this research are 0,3 L/hour, 0,15 L/hour, and 0,1 L/hour whereas for variation electrolyte solution of KmnO_4 are 0,15 M, 0,1 M and 0,01 M. The results showed that the microbial fuel cell lasts for 44 days at the rate of 0.1 L / hour resulted had the optimum decrease in Chemical Oxygen Demand (COD) discharge of 88.9% and 0.3 L / Hour optimum result in the production of electricity. Optimum power production and stable using Concentration of 0.15 M KMnO_4 that has production at 18.78 mW/m² to discharge 0.3 L / hour, 13.25 mW/m² with a discharge of 0.15 L / hour, and 15.68 mW / m² with a discharge of 0.1 L / hour.

Keywords: Animal Wastewater, microbial fuel cells, electricity production, chemical oxygen demand.

ABSTRAK

Air limbah Rumah Pemotongan Hewan mengandung padatan organik yang tinggi. Tingginya polutan padatan ini berasal dari cairan darah, sisa lemak, tinja, isi rumen dan usus yang dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah terlebih dahulu. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan air limbah Rumah Pemotongan Hewan menggunakan Metode microbial fuel cells dual chamber untuk menurunkan COD dan Produksi Listrik. Sistem ini menggunakan variasi debit, elektroda carbon, larutan elektrolit KMnO_4 sebagai akseptor elektron, dan NaCl sebagai jembatan garam yang juga berperan sebagai penukar kation. Debit divariasikan pada 0,3 L/Jam, 0,15 L/Jam, dan 0,1 L/Jam sedangkan untuk Konsentrasi larutan elektrolit KMnO_4 divariasikan pada 0,15 M, 0,1 M dan 0,01 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses microbial fuel cell yang berlangsung selama 44 hari dengan debit 0,1 L/Jam menghasilkan penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) yang optimum yaitu sebesar 88,9 % dan debit 0,3 L/Jam menghasilkan produksi listrik yang optimum. KMnO_4 dengan Konsentrasi 0,15 M menghasilkan produksi listrik yang optimum dan stabil yaitu sebesar 18.78 mW/m² dengan debit 0,3 L/jam, 13,25 mW/m² dengan debit 0,15 L/Jam, dan 15,68 mW/m² dengan debit 0,1 L/Jam.

Kata kunci : Air Limbah RPH, Microbial Fuel Cells, Produksi Listrik, Chemical Oxygen Demand

1. Pendahuluan

Pertumbuhan populasi penduduk mempengaruhi kebutuhan akan protein hewani, salah satunya di Indonesia. Menurut (Budiyono dkk, 2007), Sampai saat ini pemenuhan kebutuhan protein hewani bagi masyarakat di Indonesia pada umumnya masih jauh yang ditargetkan oleh pemerintah. Seiring dengan semakin

berkembangnya pembangunan dibidang peternakan, maka rumah pemotongan hewan (RPH) merupakan bagian integral yang tidak bisa dipisahkan dalam produksi daging pada industri peternakan. Kegiatan RPH menghasilkan air limbah yang harus diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan RPH sapi mengandung padatan organik yang

tinggi. Tingginya polutan padatan ini berasal dari cairan darah, sisa lemak, tinja, isi rumen dan usus. Oleh karena itu perlu adanya pengolahan terlebih dahulu terhadap air limbah RPH sebelum dibuang ke perairan (Andri Saputra *dkk*, 2012). Namun dengan bahan-bahan organik dari air limbah RPH tersebut, air limbah RPH dapat dimanfaatkan dalam sistem microbial fuel cells sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba. Penggunaan glukosa yang biasa digunakan sebagai substrat dapat digantikan dengan air limbah (Li, 2010 dalam Kristin 2012).

Penggunaan air limbah dalam sistem MFCs ini mempunyai beberapa keuntungan, seperti kontaminan dalam air limbah dapat menjadi sumber karbon untuk MFC, dan energi listrik yang dihasilkan cukup untuk digunakan dalam pengolahan air limbah berikutnya, dan ini berarti mengurangi konsumsi energi (Li, 2010 dalam Kristin 2012). Selain itu, Penggunaan air limbah didalam proses *microbial fuel cell* dapat menghasilkan energi sebesar 260 mW/m² (Kim *et al.*, 2004 dalam Logan, 2005).

Pada penelitian ini dilakukan variasi debit dan konsentrasi larutan elektrolit KMnO₄. Berdasarkan Fauzia *et al.*, (2012) nilai efisiensi reduksi COD semakin meningkat seiring dengan besar debit yang sama pada variasi konsentrasi sedang dan tinggi. Angka penurunan terbesar ditunjukkan pada debit 0,125 l/jam yaitu dengan waktu tinggal 8 jam. Menurut Moon *et al.*, 2006 dalam Ioannis *et al.*, 2010 menyatakan bahwa pengoperasian *microbial fuel cells* dalam aliran kontinyu yang menyajikan proses hidrodinamik yang dapat mempengaruhi kinerja dari *microbial fuel cells*. Selain itu dapat mempengaruhi dari perilaku mikroba dalam pembentukan biofilm di dalam substrat (Rochexel *et al.*, 2008 dalam Ioannis *et al.*, 2010). Dengan meningkatnya laju aliran, lapisan batas atas permukaan elektroda menjadi lebih tipis dan dengan demikian transfer massa ke elektroda akan meningkat sehingga mengakibatkan resistensi internal yang lebih rendah dan output daya tinggi (Zhu *et al.*, 2011). Dengan

melakukan variasi debit diharapkan akan diketahui tingkat produksi listrik dan penurunan COD dalam reaktor *microbial fuel cells*. Selain itu dilakukan variasi konsentrasi larutan elektrolit sebagai akseptor elektron di kompartemen katoda dengan tujuan untuk mendapatkan konsentrasi larutan elektrolit yang efektif dan optimum dalam sistem kerja reaktor *microbial fuel cells*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian *microbial Fuel Cells*

Microbial fuel cell merupakan salah satu cara untuk memproduksi energi secara berkesinambungan dalam bentuk listrik dari bahan-bahan yang dapat didegradasi. *Mikrobia Fuel Cell* adalah alat untuk mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan bantuan reaksi katalis dari mikroorganisme (Allan dan Benneto 1993 dalam Logan, 2007). Pada dasarnya, berbagai bentuk bahan organik dapat digunakan sebagai substrat dalam microbial fuel cell, seperti glukosa (Liu dan Logan, 2004), Acetat (Logan *et al.*, 2007), asam amino (Logan *et al.*, 2005) dan air limbah dari manusia dan hewan (Liu *et al.*, 2004 dalam Zahara 2011). Secara umum mekanisme prosesnya adalah substrat dioksidasi oleh bakteri menghasilkan electron dan proton pada anoda. Electron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui larutan menuju katoda. Pada katoda, reaksi electron dan proton terhadap oksigen akan menghasilkan air (H₂O) (Cheng *et al.*, 2006).

2.2 Prinsip Kerja *Microbial Fuel Cells*

Pada umumnya sebuah MFC terdiri dari anoda, katoda membrane penukar kation atau proton dan sirkuit listrik. Bakteri hidup dalam ruangan anoda dan mengubah substrat seperti glukosa, asetat juga limbah cair menjadi CO₂, proton dan electron. Pada kondisi *aerobic*, bakteri menggunakan oksigen atau nitrat sebagai *aseptor electron* akhir untuk membentuk air. Namun pada ruangan anoda dalam sebuah MFC, tidak terdapat oksigen, sehingga bakteri harus mengubah aseptor electronnya menjadi sebuah *aseptor insoluble* seperti anoda MFC. Berdasarkan kemampuan bakteri

mentransfer electron pada anoda tersebut, maka MFC bisa digunakan untuk mengumpulkan electron yang berasal dari metabolisme mikroba.

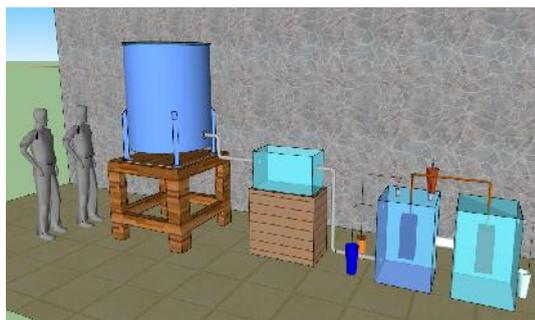
3. Metodologi Penelitian

Miniatur sistem pengolahan yang dioperasikan untuk mendapatkan data dengan menggunakan reaktor *Microbial fuel cells*. Reaktor didesain dalam bentuk *dual-chamber* yaitu kompartemen anoda dan katoda. Kedua kompartemen ini dipisahkan oleh sebuah jembatan garam yang sudah di preparasi. Dalam design reaktor MFCs terbuat dari bahan kaca dengan dimensi 20 cm x 15 cm x 15 cm. volume yang akan digunakan adalah sebesar 3 liter dengan waktu tinggal (td) selama 20 jam. Adapun perhitungannya adalah Volume Rencana = 3 Liter ; Td Maksimum, 20 Jam (Baikun Li et al., 2011), maka variasi debit yang dipakai adalah pada waktu detensi (Td) 10 Jam, 20 Jam, dan 30 jam, adapun debit yang direncanakan adalah sebagai berikut ini.

Tabel 1 Perhitungan Debit Reaktor MFC

No	Variasi Debit (L/Jam)	Td (Jam)
1	0,300	10
2	0,150	20
3	0,100	30

Sumber: Hasil Perhitungan, 2013

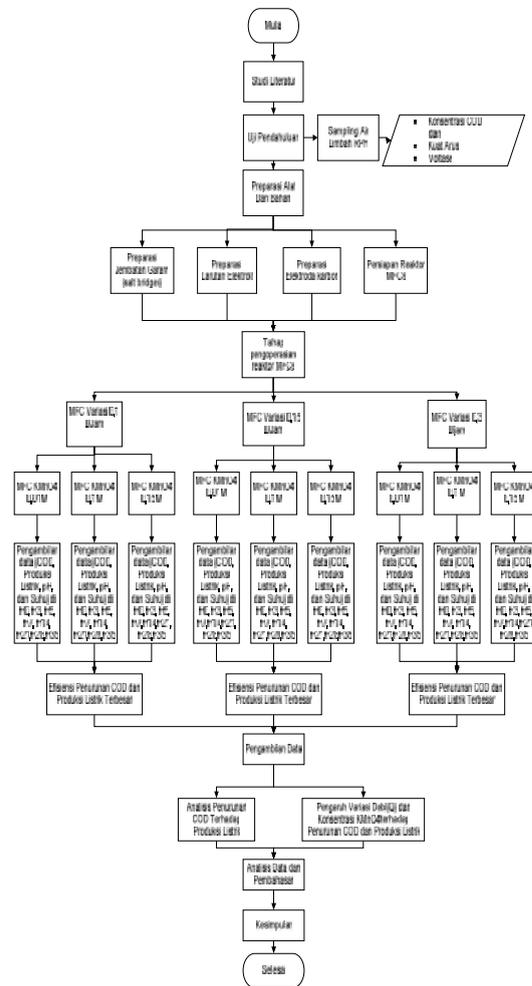


Gambar 2 Rencana Desain Reaktor Microbial Fuel Cells

Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Limbah Artificial (Limbah Buatan) terbuat dari asam asetat (CH_3COOH) glasial (98-99,8 %)
- Reagen COD (Solution Digestion ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HgSO}_4$) dan Pereaksi asam sulfat ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ag}_2\text{SO}_4$).
- Agar untuk jembatan Garam dan NaCl, NaOH dan HCL untuk Preparasi elektroda
- Elektroda karbon (Carbon Grafite)
- KMnO_4 Pro Analisis sebagai bahan larutan elektrolit.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

4. Hasil Dan Pembahasan

Hasil uji karakteristik dari air limbah RPH.

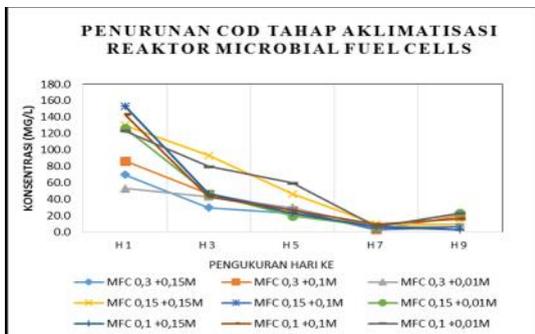
Tabel 2 Hasil Uji Karakteristik Limbah RPH

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu)*
1	COD	mg/l	236,67	200 (mg/l)
2	pH	-	7.52	6-9)
3	BOD	mg/l	87,64	100 (mg/l)
4	TSS	mg/l	62,00	100 (mg/l)
5	Lemak	mg/l	3,4	15 (mg/l)
6	Tegangan	mV	0	-
7	Kuat Arus	mA	0	-

*(PermenLH No 2 Tahun 2006)

4.1 Penurunan COD Hasil Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan limbah buatan (*artificial*) yakni dengan menggunakan asam asetat dengan konsentrasi COD yang mendekati dari konsentrasi COD limbah RPH. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Baikun Li., et al, (2011) yang melakukan proses aklimatisasi dengan menggunakan asam asetat yang telah diatur kadar konsentrasi COD yang mendekati limbah aslinya dalam reaktor *microbial fuel cells*.

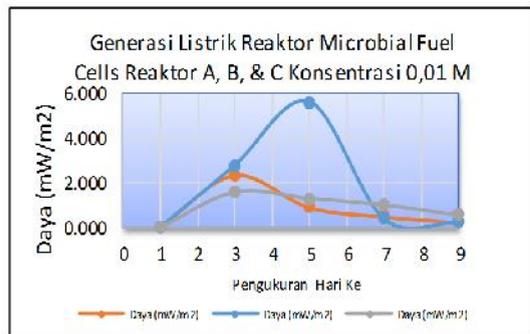
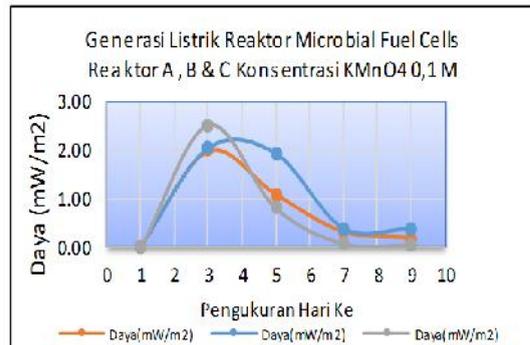
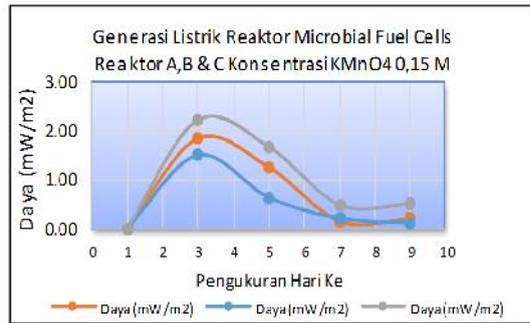


Gambar 4 Penurunan COD Tahap Aklimatisasi

4.2 Produksi Listrik Hasil Aklimatisasi

Sistem *microbial fuel cells* selain digunakan untuk mengolah limbah dapat digunakan

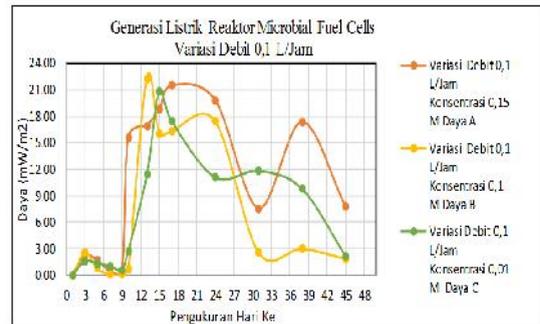
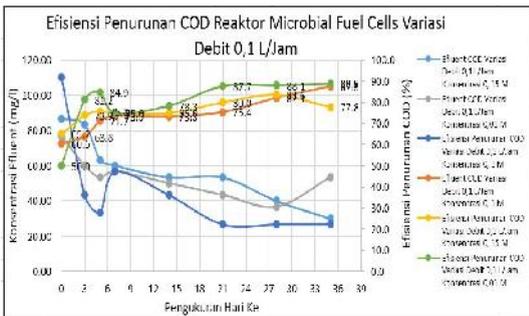
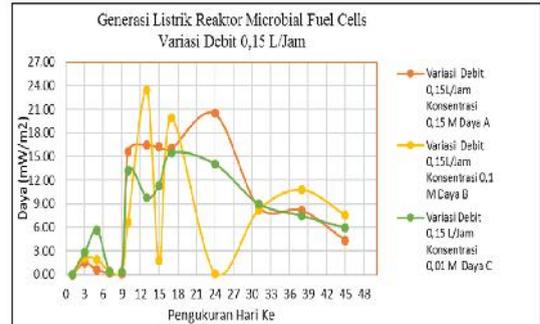
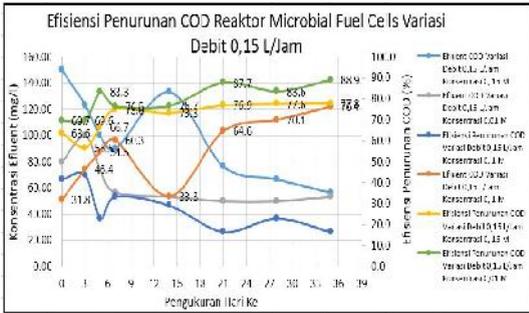
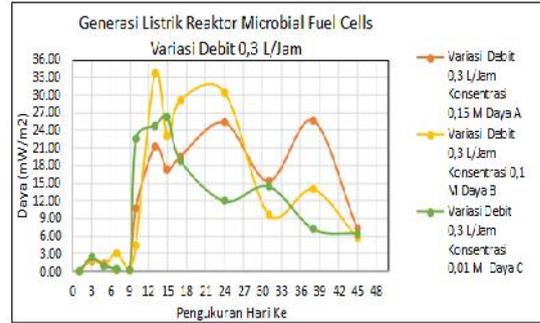
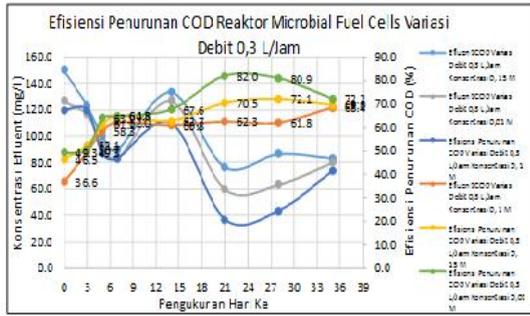
untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 5 Produksi Listrik Tahap Aklimatisasi

4.3 Penurunan COD Hasil Running Variasi Debit Terhadap Konsentrasi KMnO₄

Hasil penurunan COD pada tahap running dilihat berdasarkan efisiensi penyisihan dari COD dari konsentrasi influent limbah. Konsentrasi awal pada tahap running untuk parameter COD merupakan konsentrasi inlet yang masuk kedalam reaktor *microbial fuel cells* bagian kompartemen anoda.



Gambar 6 Penurunan COD Variasi Debit

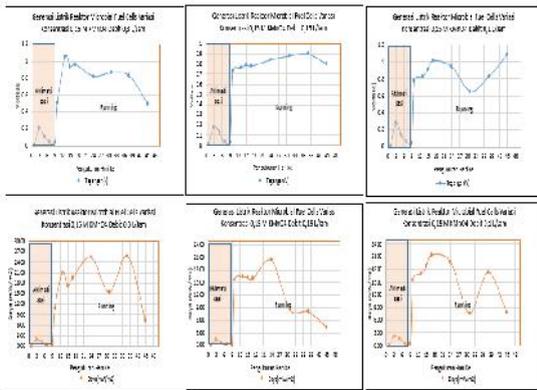
Gambar 7 Produksi Listrik Proses Running Variasi Debit

4.4 Produksi Listrik Hasil Running Variasi Debit Terhadap Konsentrasi KMnO₄

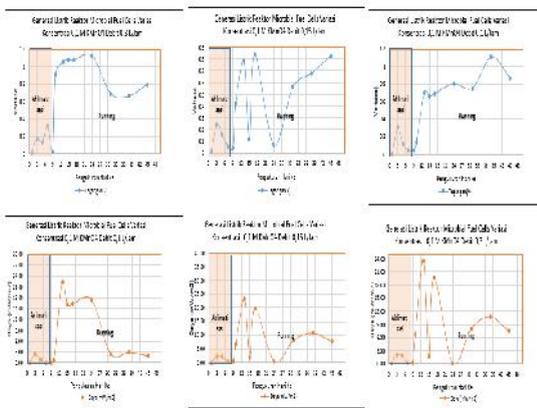
Sistem produksi listrik (daya) ini dihasilkan melalui persamaan $P = V \times I$ dimana V adalah tegangan (v), I adalah kuat arus (mA), Kuat arus dihasilkan dari proses metabolisme bakteri yang menghasilkan elektron elektron yang dihantarkan melalui elektroda elektroda di dalam *microbial fuel cells*. Satuan daya ini adalah (mW) dibagi dengan satuan luasan dari elektroda m² sehingga menjadi mW/m² (Obasi *et al*, 2013; Momo dan Nyeanyor, 2010; Rabaey dan Verstaete, 2005).

4.5 Produksi Listrik Hasil Running Konsentrasi KMnO₄ Terhadap Variasi Debit

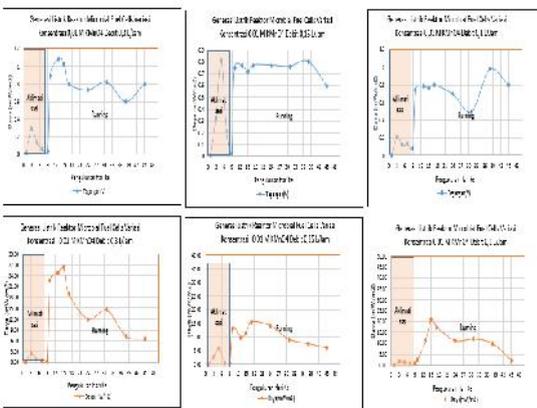
Daya yang dihasilkan merupakan hasil perhitungan nilai tegangan dikalikan dengan kuat arus yang dibagi dengan luas elektroda. Dari ketiga variasi diatas, konsentrasi 0,15 M dengan debit 0,3 L/Jam, 0,15 L/Jam, dan 0,1 L/Jam menghasilkan energi yang optimum dan lebih baik dibandingkan dengan variasi konsentrasi 0,1 M dan 0,01 M dengan debit yang sama. Adapun hasil dari produksi listrik hasil running konsentrasi KMnO₄ Terhadap Variasi Debit adalah



Gambar 8 Produksi Listrik Variasi KmnO4 0,15 M



Gambar 9 Produksi Listrik Variasi KmnO4 0,1 M



Gambar 10 Produksi Listrik Variasi KmnO4 0,01 M

4.6 Pembahasan Hasil Aklimatisasi

Dari Gambar 4, penurunan COD pada tahap aklimatisasi yang terbesar adalah pada tahap aklimatisasi untuk pengukuran H7 dan H9. Dimana penyisihan COD untuk reaktor H7 dan H9 adalah menghasilkan *effluent* sebesar 3,3 mg/l atau dengan efisiensi 98 %. Penurunan ini disebabkan karena potensi dari elektroda grafit sebagai karbon.

Elektroda dapat sebagai tempat hidup bakteri untuk melakukan metabolisme membentuk biofilm dan membantu dalam melakukan penyisihan COD. Menurut Zhou *et al* (2011) elektroda dapat digunakan untuk mengolah limbah dalam reaktor *microbial fuel cells*, elektroda dapat diaplikasikan didalam pengolahan limbah seperti lembaran karbon dan karbon *cloth* yang disesuaikan dengan karakteristik air limbah itu sendiri. Penggunaan elektroda ini dapat menyisihkan COD rentang 30%-98%, namun diberbagai penelitian disebutkan diatas 50 % dalam menyisihkan COD menggunakan elektroda.

Dari gambar 5 dapat dijelaskan bahwa proses terbentuknya energi listrik karena bioconversi dari limbah organik menjadi electron yang ditangkap melalui elektroda berupa elektroda karbon. Menurut (Logan *et al.*, 2006; Du *et al.*, 2007; Oh *et al.*, 2010 dan Zhu *et al.*, 2011). Sistem *microbial fuel cells* merupakan suatu proses dimana menggunakan mikroorganisme untuk mengkonversi proses energy kimia dari substrat yang dapat diuraikan (organik) menjadi energi listrik dengan mengkatalis mikroba dengan sistem reaksi redoks. Dari hasil aklimatisasi diketahui bahwa dengan sistem *batch* hasil energy yang dihasilkan akan naik turun. Hal ini dikarenakan pengaruh konsentrasi COD yang berkurang karena tingginya efisiensi pengolahan yang ada di dalam reaktor *microbial fuel cells*. COD dari limbah RPH Kota Salatiga berkisar direntang 200 mg/l -280 mg/l, namun dalam tahap aklimatisasi menggunakan limbah artfisial dengan kandungan COD sebesar 206,7 mg/l. Dari hasil aklimatisasi dihasilkan energy sebesar 2,22 mW/m², 2,52 mW/m², 5,96 mW/m² untuk konsentrasi 0,15, 0,1, 0,01 M KMnO₄ dalam proses aklimatisasi.

Menurut Zhu *et al.*, (2011) dijelaskan bahwa daya yang dihasilkan akan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi COD. Energi yang dihasilkan di fungsikan sebagai dasar untuk mengidentifikasi konsentrasi COD suatu limbah yang artinya energy yang dihasilkan memiliki suatu hubungan yang berkaitan dengan konsentrasi COD (Kovar dan Egli, *et al.*,(1998) dalam Zhu *et al.*, 2011).

Karena COD hasil pengolahan menunjukkan penyisihan yang efisiensinya mencapai 98 % maka produksi listrik di titik efisiensi COD 98 % akan turun. Nilai potensial di anoda umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain laju konversi substrat dan laju transfer electron dari bakteri ke permukaan elektroda di kompartemen katoda, sedangkan nilai potensial di katoda hanya ditentukan oleh jenis larutan elektrolit yang digunakan. Dengan mengansumsikan nilai potensial redoks NAD⁺/NADH di anoda bernilai konstan (-0,32) maka nilai tegangan akan bergantung pada kinerja katoda. Karena larutan permanganate memiliki potensial redoks yang tinggi, perbedaan potensial antara anoda dan katoda akan semakin besar maka energy yang dihasilkan akan meningkat You *et al.*, (2006).

4.7 Pembahasan Hasil Running

4.7.1 Penurunan COD

Dari hasil penelitian, penurunan COD semakin meningkat dengan semakin lamanya waktu tinggal didalam reaktor itu sendiri. Variasi waktu tinggal yaitu (10 jam, 20 jam, dan 30 jam). Sehingga didapatkan nilai variasi debit 0,3 L/Jam, 0,15 L/Jam, dan 0,1 L/Jam. Dalam penelitian dengan menggunakan reaktor microbial fuel cells ini didapatkan bahwa dengan waktu tinggal 30 jam atau dengan debit 0,1 L/Jam menghasilkan penurunan efisiensi COD dengan rata-rata 80-89 %. Hal ini sesuai dengan penelitian Darmayanti (2002) dalam Fauzia dkk (2012) yang menyebutkan bahwa untuk perpanjangan waktu reaksi akan menghasilkan penyisihan organik yang lebih baik. Hal ini karena semakin rendah laju alir maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam ari limbah beelangsung baik, karena kontak antara mikroorganisme terjadi dengan waktu yang cukup lama (Nugrahini (2008) dalam Fauzia dkk (2012). Selain itu, dalam penelitian yang dilakukan Widayanto (2012) menyatakan bahwa nilai efisiensi reduksi COD semakin meningkat seiring dengan semakin lama

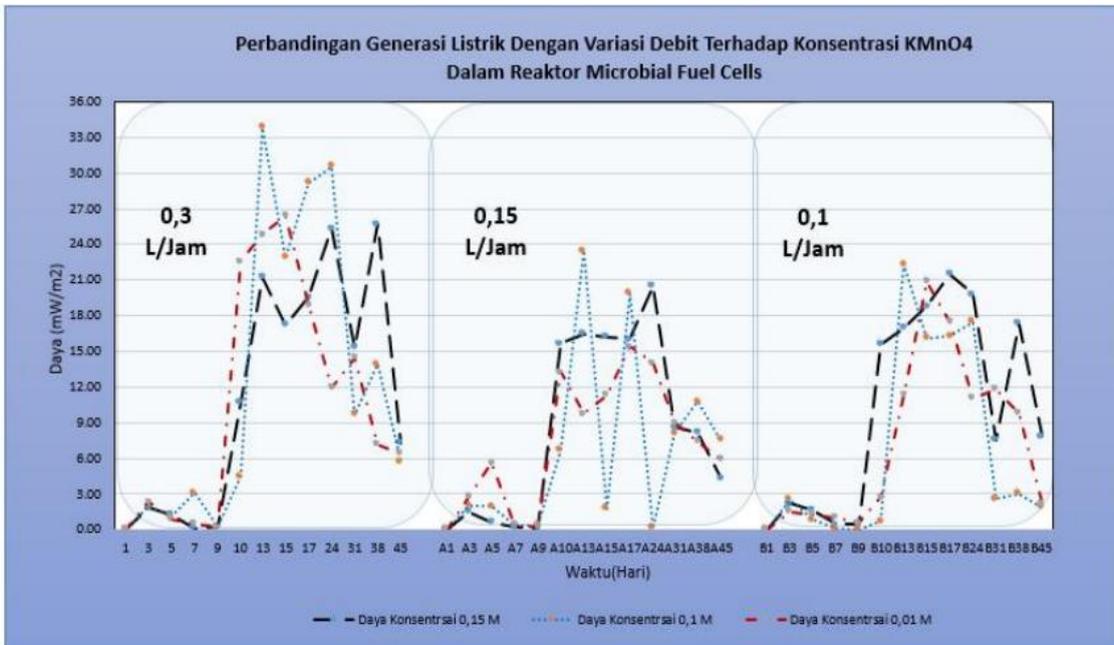
waktu tinggal, dengan besar debit yang sama pada tiap variasi konsentrasi angka penurunan terbesar ditunjukkan pada aliran debit 0,15 L/Jam yaitu dengan waktu tinggal 8 Jam. Dalam penelitian menggunakan sistem microbial fuel cells dalam mereduksi kandungan COD dilakukan oleh Booki Min *et al.*, (2004) yang menyatakan bahwa waktu tinggal memepengaruhi dari proesestase penurunan COD dari limbah domestik, dijelaskan bahwa dengan waktu tinggal 1,1 Jam dapat menyisihkan COD sebesar 42 %, Namun ketika waktu tinggalnya meningkat menjadi 4 Jam, prosesntase penurunannya naik menjadi 79 % penurunan COD. Waktu tinggal menunjukkan hasil lebih efektif didalam mendegradasi COD, Namun memiliki efek negatif terhadap stabilitas tegangan yang dihasilkan (15,5 jam (Li *et al.*, 2008), 20 jam (Huang *et al.*, 2008) dan 11,3 h (Liu *et al.*, 2008); dalam Ioannis Ieropoulos *et al.*, 2010) Faktor lain yang berpengaruh dalam penurunan COD adalah pH dari limbah itu sendiri. Dalam penelitian Sebastia Puig *et al.*, (2010) menyatakan bahwa efisiensi COD stabil disekitar 77%+6% di rentang pH 6 -9,5. Sedangkan dalam penelitian C.Sukkasem *et al* (2011) disebutkan bahwa pH netral (6,6-7,5) memberikan hasil pengurangan COD lebih dari 55 %. Hasil ini berhubungan dengan hasil penelitian ini yang dapat menyisihkan diatas 55 % COD dan menyimpulkan bahwa pH merupakan salah satu faktor yang sangat menunjang dalam proses penyisihan COD didalam *reaktor microbial fuel cells*.

4.7.2 Produksi Listrik Variasi Debit

Produksi listrik optimum yang dihasilkan dari reaktor microbial fuel cells adalah dengan variasi debit yang besar yaitu variasi debit 0,3 L/Jam. Pengaruh debit sangat mempengaruhi dalam perfoma sistem sel bahan bakar mikroba. Hal ini dikarenakan, Dengan meningkatnya laju aliran, lapisan batas atas permukaan elektroda menjadi lebih tipis dan dengan demikian transfer

masa ke elektroda akan meningkat sehingga mengakibatkan resistensi internal yang lebih rendah dan output daya tinggi (Zhu *et al.*, 2011). Penjelasan lain dari penelitian yang dilakukan oleh (Di Lorenzo *et al.*, 2009 dalam Zhu *et al.*, 2011) yang menyatakan bahwa

tidak menyebabkan daya yang dihasilkan selalu stabil, hal ini dikarenakan nilai internal resistance yang meningkat di dua kompartemen yang mempengaruhi produksi listrik dari sistem MFCs. Namun, dari keseluruhan variasi debit yang dilakukan



Gambar 11 Perbandingan Generasi Listrik Dengan Variasi Debit Dalam Reaktor Microbial Fuel Cells

naiknya energi berasal dari peningkatan aktivitas elektrokimia dari bakteri dengan peningkatan laju aliran. Dari variasi debit yang dilakukan dalam penelitian ini, variasi debit 0,3 L/Jam menghasilkan generasi listrik dengan rata-rata 17,72 mW/m² untuk variasi konsentrasi (0,15 M, 0,1M, dan 0,01 M). Untuk variasi debit 0,15 L/Jam menghasilkan daya sebesar 11,26 mW/m², sementara itu variasi debit 0,1 L/Jam menghasilkan daya sebesar 12,21 mW/m². Dari gambar 4.26 dapat dijelaskan bahwa semakin meningkatnya aliran debit di dalam reaktor menyebabkan peningkatan daya yang dihasilkan. Penelitian lain menyatakan bahwa peningkatan debit dari 0 mL/min ke debit 13 mL/min meningkatkan daya dari minimum 530 mW/m² meningkat menjadi 879 mW/m² (Aaron *et al.*, 2010). Dari penjelasan diatas dapat disebutkan bahwa pengaruh dari debit sangat berpengaruh terhadap hasil daya dari sistem reaktor microbial fuel cells. Dengan debit terbesar

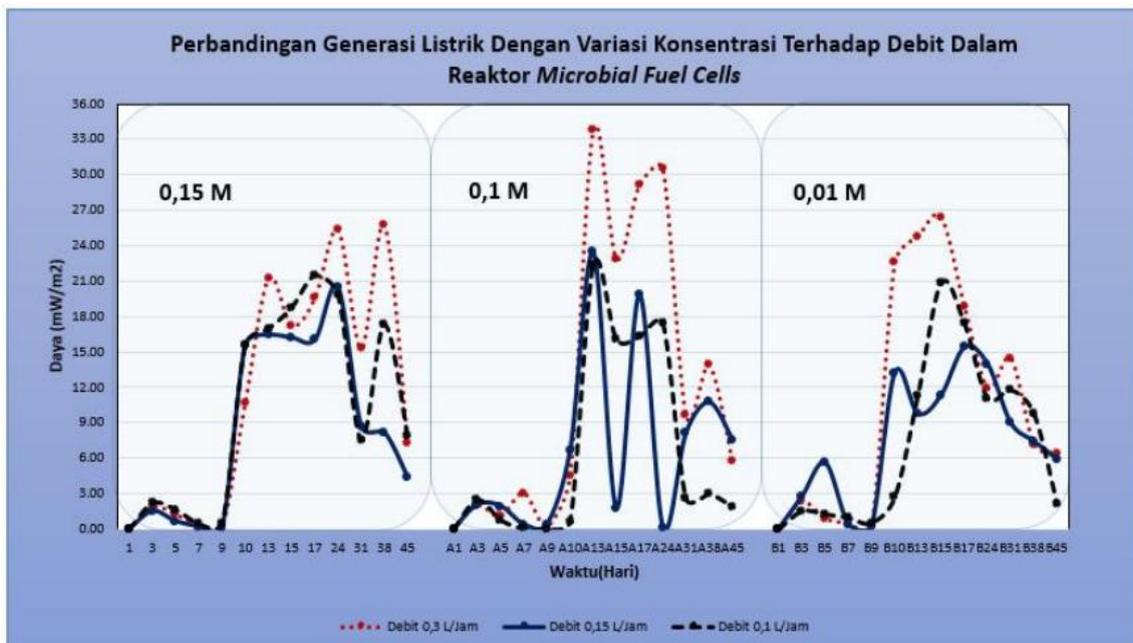
yang terbaik adalah variasi debit yang terbesar yaitu 0,3 L/Jam. Penggunaan system kontinyu kedalam *Microbial fuel cells* akan lebih baik dibandingkan dengan menggunakan konsep Batch reactor. Dengan system kontinyu kondisi nutrisi akan terjaga dan akan terjadi perubahan kultur media yang baru dengan adanya aliran secara kontinyu ke kompartemen anoda dibandingkan dengan system *batch* yang memiliki kelemahan diantaranya nutrisi yang ada dalam ruang volume reactor akan habis pada waktu tertentu. Dan ini akan menyebabkan penurunan produksi listrik terhadap waktu (Rabaey dkk, 2005c dalam Mostafa *et al.*, 2011).

4.7.3. Produksi Listrik Variasi Konsentrasi KMnO₄

Hasil energi listrik yang dihasilkan dari sistem microbial fuel cells, selain dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti substrat air limbah, pH, dan suhu, Energi yang dihasilkan

dipengaruhi oleh larutan elektrolit KMnO_4 . Larutan KMnO_4 ini berfungsi sebagai penerima sumber proton yang berasal dari kompartemen anoda. Proton yang ditrasfer melalui jembatan garam di alirkan menuju kompartemen katoda. Dengan debit 0,3 L/Jam. Untuk variasi konsentrasi 0,1 M KMnO_4 dengan debit 0,3 L/Jam menghasilkan daya terbesar diantara konsentrasi 0,15 M dan 0,01 M yaitu 33,79 mW/m^2 di hari ke-3 proses running. Salah satu penyebab konsentrasi 0,1 M lebih menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 0,01 M dan 0,15 M adalah tidak adanya penyebab yang positif terhadap penambahan

μM Pottasium permanganate namun, tidak mempunyai pengaruh yang positif terhadap penambahan kuat arus dan daya itu sendiri. Namun, dari keseluruhan rata-rata, daya dihasilkan dari semua variasi debit (0,3, 0,15, dan 0,1 L/Jam) menunjukkan bahwa konsentrasi optimum yaitu 0,15 M Potasium permanganate menghasilkan daya yang lebih stabil dibandingkan daya yang dihasilkan oleh konsentrasi 0,1 dan konsentrasi 0,01 M, terlihat **gambar 12**. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH Kompartemen Katoda, pH Kompartemen Anoda, dan Daya dukung jembatan garam, pH merupakan faktor



Gambar 12 Perbandingan Generasi Listrik Dengan Variasi Konsentrasi KMnO_4 Dalam Reaktor Microbial Fuel Cells

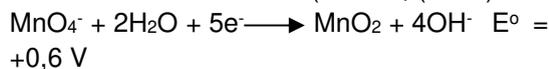
konsentrasi sehingga menyebabkan tidak adanya penambahan kuat arus dan penambahan daya yang dihasilkan walaupun daya dan kuat arus yang dihasilkan konsentrasi lain menghasilkan suatu daya dan kuat arus yang hasilnya dibawah konsentrasi 0,1 M. Hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh Mostafa Rahimnejad *et al.*, (2012) yang menyatakan bahwa dari konsentrasi 100,200,300, dan 400 μM . Daya tertinggi yang dihasilkan adalah konsentrasi 300 μM . walaupun, di beberapa konsentrasi menghasilkan daya yang baik dari pada 300

penting dalam menentukan besar rendahnya suatu daya yang dihasilkan dari sistem Microbial fuel cells. Nilai pH larutan elektrolit sebagai penerima proton dari proses metabolisme bakteri di kompartemen anoda mempunyai rentang nilai 4,91-8,16 untuk semua variasi konsentrasi KMnO_4 dan Debit. Menurut Haslett, (2012) reaksi optimum dari penggunaan Pottasium Permanganat adalah dalam kondisi pH asam, dan akan terjaga ketika proses migrasi proton H^+ dari kompartemen anoda ke katoda melalui Salt Bridges atau jembatan garam. Dari hasil pH

dapat dijelaskan bahwa di kompartemen katoda mempunyai pH yang relatif mengarah ke netral dan basa. Hal ini menyebabkan, nilai potensial yang ada tidak dapat maksimal. Seperti reaksi untuk KMnO_4 dalam kondisi asam dibawah ini.



Karena kondisi dari larutan elektrolit adalah tidak dalam pH asam melainkan dalam kondisi basa maka nilai voltase yang terjadi tidak sebesar 1,51 V. pH maksimum pada nilai 8,16 hal ini disebabkan karena tidak adanya proses transfer H^+ dari kompartemen anoda yang menyebabkan perubahan nilai voltase seperti digambarkan dalam reaksi dibawah ini (Haslett, (2012).



Jika dalam prosesnya pH terus naik maka akan menyebabkan terhentinya transfer proton. Transfer proton dipengaruhi oleh jembatan garam sebagai PEM. H^+ tidak akan migrasi ke kompartemen katoda jika dalam posisinya pH di katoda menjadi basa dan umur jembatan garam sudah tidak bisa dipakai kembali lagi atau telah jenuh. Jenuhnya jembatan garam disebabkan karena H^+ tidak migrasi ke katoda yang disebabkan pH di katoda telah meningkat. Konsentrasi terbesar merupakan hasil yang terbaik dari sistem MFCs dalam penelitian ini, hal ini dikarenakan tingkat konsentrasi yang ada didalam 0,15 M, dengan konsentrasi KMnO_4 yang tinggi tidak mempengaruhi dari tekanan osmotik yang ada didalam sistem MFCs.

4.7.8. Hubungan COD Terhadap Produksi Listrik

Dari hasil penelitian didapatkan hasil yang menjelaskan bahwa dengan proses masuknya debit yang lebih besar maka akan mempengaruhi nilai dari daya yang dihasilkan, dari penelitian yang menggunakan debit 0,3 L/Jam mempunyai hasil daya yang lebih besar dari pada dengan menggunakan debit dengan aliran yang lebih kecil yaitu 0,15 L/Jam dan 0,1 L/Jam sesuai dengan data yang telah dijelaskan di bagian hasil penelitian. Dapat dibuat suatu hubungan yaitu dengan proses masuknya debit yang konstan tidak lambat

maka akan didapatkan hasil daya yang lebih baik dari pada debit yang lambat, karena debit yang konstan akan membawa kandungan COD yang lebih banyak dari pada debit yang lambat lambat. Hal ini sesuai dalam penelitian Del Campo et al.,(2012) yang membuktikan mengenai pengaruh dari konsentrasi COD dengan menggunakan rentang konsentrasi COD diantara 100 mg COD/dm³ 3000 mg COD/dm³ dan 3000 mg COD/dm³ ke 100 mg COD/dm³ yang menyatakan bahwa dalam konsentrasi COD yang tinggi mikroorganisme mensintesis lebih enzyme dengan mempertahankan kemampuan menghilangkan COD dalam dalam beberapa waktu, oleh karena itu mikroorganisme mampu menurunkan COD pada tingkat konsentrasi tinggi sehingga meningkatkan instesitas maksimum yang dihasilkan dari sistem *Microbial Fuel Cells* itu sendiri dan kuat arus akan meningkat dengan meningkatnya COD dan sebaliknya. Selain hubungan antara COD in terhadap kuat arus yang dihasilkan, dalam pembahasan ini dilakukan analisa mengenai hubungan *COD Removal* terhadap nilai kuat arus yang dihasilkan dari sistem *microbial fuel cells*.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Microbial fuel cells dilakukan dengan sistem *mechanism* metabolisme mikroba (pertumbuhan bakteri di elektroda karbon), *Biochemistry* (penurunan COD dari proses *Biofilm*), *elektro-kimia* (generasi elektron dan transfer elektron di *anoda* dan *katoda*) yang sangat berpengaruh terhadap produksi listrik dan efektif terhadap pengolahan limbah. Adapun kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah.

1. Variasi debit dan konsentrasi larutan elektrolit KMnO_4 sangat berpengaruh terhadap hasil dari penurunan COD dan hasil produksi listrik didalam reaktor *microbial fuel cells*. Variasi debit dengan aliran terbesar mempunyai efisiensi penurunan COD yang kecil namun menghasilkan produksi listrik yang terbesar dan sebaliknya variasi debit

dengan aliran terkecil menghasilkan efisiensi penurunan COD yang terbesar. Namun, menghasilkan produksi listrik yang terkecil. Variasi debit 0,3 L/Jam dan Konsentrasi 0,15 M KMnO₄ adalah variasi dengan hasil produksi listrik yang optimum. Selain itu, variasi debit 0,1 L/Jam merupakan variasi debit optimum dalam mendegradasi kandungan COD didalam air limbah RPH dengan sistem *Microbial fuel cells* dengan efisiensi sebesar 89 %.

2. Penurunan COD mempengaruhi terhadap produksi listrik didalam sistem *microbial fuel cells*. Influen COD didalam sistem MFCs mempengaruhi kinerja *microbial fuel cells*. Peningkatan konsentrasi COD meningkatkan generasi listrik di *microbial fuel cells* , dan sebaliknya penurunan konsentrasi COD menurunkan generasi listrik yang terjadi didalam sistem *microbial fuel cells*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut ini:

1. Pergantian bahan dalam pembuatan *salt bridges* yang mempunyai ketahanan lebih lama dalam menghantarkan Proton H⁺ didalam sistem *microbial fuel cells*.
2. Penggunaan eksternal resistence didalam sistem *microbial fuel cells* agar dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari eksternal resistense terhadap generasi listrik yang dihasilkan
3. Menggunakan bahan carbon yang memiliki resistensi yang rendah, karena semakin rendah resistensi didalam sistem *microbial fuel cells* dapat memperbesar elektron yang dihasilkan.
4. Melakukan variasi terhadap jumlah jembatan garam (*salt bridges*) didalam *microbial fuel cells* yang digunakan untuk mengetahui keefektifan jembatan garam didalam MFCs.
5. Menambahkan mediator untuk menambah generasi elektron yang masuk kedalam ektroda. Sebaiknya dalam peneltian *microbial fuel cells*, di

gunakan limbah dengan kandung organik yang tinggi terutama COD dan BOD. Karena kandungan organik mempengaruhi dari generasi listrik yang dihasilkan.

6. Menggunakan bakteri yang spesifik didalam sistem *microbial fuel cells* seperti bakteri penghasil listrik *Geobacter Sp.* Penggunaan bakteri ini bisa diterapkan dengan mengkondisikan salinitas tinggi.
7. Melakukan variasi konsentrasi COD di dalam MFCs yang digunakan untuk melihat pengaruh dari karakteristik COD terhadap produksi listrik yang dihasilkan di dalam sistem.

Reffrensi

- Allan dan Benneto 1993 dalam Logan, Bruce.E.2007. *Microbial Fuel Cells*.Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-23948-3.
- Aaron Doug. Costas Tsouris. Choo Y.Hamilton dan Abhijeet P Borole. 2010. *Assesment of the Effects of Flow Rate and Ionic Strength On The performance of an air-cathode Microbial fuel cells using electrochemical Impedance Spectroscopy*.Energies 2010,3, 592-666.
- Andri S, M.Hasbi dan Budijono.2012. *Peningkatan Remediasi TSS dan TDS Air Limbah Rumah Pematangan Hewan Sapi Kota Pekanbaru dengan Biofilter Kombinasi Anaerob-Aerob Bermedia Potongan Plastik Untuk Media Hidup Ikan Budaya*. Tugas Akhir. Progam Studi Ilmu Kelautan dan Perikanan. Universitas Riau
- Baikun Li, Karl Scheible, and Micheal Curtis. 2011. *Electricity Generation From Anaerobic Wastewater Treatment In Microbial Fuel Cells*. Water Environment Research Foundation. Now York State Energi Research And Development Authority.
- Budiyono, I N.Widiasa, dan Seno Johari. *Pengolahan Limbah Dengan Kandungan Padatan Tersuspensi dan Bahan Organik Tinggi dengan Ozonisasi* : Studi

- Kasus Pada Pengolahan Air Limbah RPH. Seminar Nasional Fundamental Dan Aplikasi Teknik Kimia, 2007. ISSN 1410-5667. PL 14-1 – PL 14-5
- Change et al., 2006a dalam Pandey, B.K. Mishra, V. S Agrawal. 2011. *Production Of Bio-Electricity During Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell*. International Journal Of Engineering Science And Technology Vol.3, No.4, 2011, pp 42-47
- Darmayanti (2002) dalam Yazid, FR., Syafrudin, dan Ganjar Samudro. 2012. *Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Debit Pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB*. Jurnal Presipitasi. Vol. 9 No.1 Maret 2012. ISSN 1907-187X
- Del Campo, A.Gonzales. J.Loboto. P.Canizares.M.A.Rodrigo.F.J.Fernandez Morales. 2012. *Short-term effects of temperature and COD in a Microbial Fuel Cells*. Applied energy xxx (2012)
- Du et al., 2007 dalam Zhu, Feng. Wancheng Wang. Ziaoyan Zhang. Guanhong Tao. 2011. *Electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell with down-flow feeding onto the cathode*. Bioresource Technology 102 (2011) 7324-7328
- Di Lorenzo et al., 2009 dalam Zhu, Feng. Wancheng Wang. Ziaoyan Zhang. Guanhong Tao. 2011. *Electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell with down-flow feeding onto the cathode*. Bioresource Technology 102 (2011) 7324-7328
- Gerardi, Micheal H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digester*. Wiley Interscience: Canada
- Haslett, N.D. 2012. *Development of a Eukaryotic Microbial Fuel Cell Using *Arxula Adeninivorans**. Thesis Submitted in partial fulfillment of the requirements for the doctorate of philosophy of biochemistry. Licoln University.
- Huang et al., 2008 dalam Leropoulos, Ioannis, Jonathan Winfield, And John Greenman. 2010. *Effects of Flow-Rate, Inoculum and Time On The Internal Resistance Of Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 101 (2010) 3520-3525.
- K. Rabaey, W. Ossieur, M. Verhaege, dan W. Verstraete. *Continous microbial fuel cells convert carbohydrates to electricity*. Ghent University.
- Kim et al., 2004 dalam Logan, B.E. 2005. *Simultaneous Wastewater Treatment and Biological Electricity Generation*. Water Science & Technology Vol 52 No 1-2 pp 31-37 ©IWA Publishing 2005
- Kristin E.2012. *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Skripsi. Program Studi Teknologi Bioproses.Fakultas Teknik. Universitas Indonesia
- Kovar dan Egli et al.,1998 dalam Zhu, Feng. Wancheng Wang. Ziaoyan Zhang. Guanhong Tao. 2011. *Electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell with down-flow feeding onto the cathode*. Bioresource Technology 102 (2011) 7324-7328
- Leropoulos, Ioannis, Jonathan Winfield, And John Greenman. 2010. *Effects of Flow-Rate, Inoculum and Time On The Internal Resistance Of Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 101 (2010) 3520-3525.
- Li et al., 2008 dalam Leropoulos, Ioannis, Jonathan Winfield, And John Greenman. 2010. *Effects of Flow-Rate, Inoculum and Time On The Internal Resistance Of Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 101 (2010) 3520-3525.
- Li, 2010 dalam Kristin E.2012. *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Skripsi. Program Studi Teknologi Bioproses.Fakultas Teknik. Universitas Indonesia
- Li, Xiaohu., Nengwu Zhu., Yun Wang.,Ping Li., Pingxiao Wu., Jinhua Wu. 2013. *Animal carcass wastewater treatment and bioelectricity generation in up flow tubular microbial fuel cells: effects of HRT and non-precious metallic catalyzt*.

- Bioresource Technology 128 (2013)456-460
- Liping Huang, John M, Regen, and Xie Quan. *Electron Transfer Mechanisms, New Applications, and Performance of Biocathode Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 102 (2011)316-323.
- Liu et al., 2008 dalam Leropoulos, Ioannis, Jonathan Winfield, And John Greenman. 2010. *Effects of Flow-Rate, Inoculum and Time On The Internal Resistance Of Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 101 (2010) 3520-3525.
- Liu, Hong and Bruce E. Logan.2004. *Electricity Generation Using An Air Cathode Single Chamber Microbial Fuel Cell In The Presence an Absence of A Proton Exchange Membrane*. Environ. Sci. Technol, 2004, 38, 4040-4046.
- Liu et al., 2004 dalam Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces Cerevisiae Dalam Sistem Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Listrik*. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Logan, Bruce.E.2007. *Microbial Fuel Cells*.Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-23948-3.
- Logan, B.E. 2005. *Simultaneous Wastewater Treatment and Biological Electricity Generation*. Water Science & Technology Vol 52 No 1-2 pp 31-37 ©IWA Publishing 2005
- Logan et al., 2006 dalam Zhu, Feng. Wancheng Wang. Ziaoyan Zhang. Guanhong Tao. 2011. *Electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell with down-flow feeding onto the cathode*. Bioresource Technology 102 (2011) 7324-7328
- Mostafa Rahimnejad. Mostafa Ghasemi.Ghasem Najafpour. Ali Ghoreyshi. Gholamreza Bakeri. S.K.H Nejad dan. Farid Talebnia. 2012. *Acetone Removal and Bioelectricity Generetaion in Dua Chamber Microbial Fuel Cells*. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. ISSN: 1553-3468
- Momo dan Nyeanyor, 2010 dalam Obasi. Livinus A, Charles C. Opera, Ken Okpala, Akuma Oji. 2013. *Effect Of Sodium Alginate on Proton Conductivity Of Cassava Starch In A Microbial Fuel Cell*. Greener Journal Of Biological Process. ISSN: 2276-7762.
- Nugrahini (2008) dalam Yazid, FR.,Syafudin, dan Ganjar Samudro. 2012. Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Debit Pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB. Jurnal Presipitasi. Vol. 9 No.1 Maret 2012. ISSN 1907-187X
- Obasi. Livinus A, Charles C. Opera, Ken Okpala, Akuma Oji. 2013. *Effect Of Sodium Alginate on Proton Conductivity Of Cassava Starch In A Microbial Fuel Cell*. Greener Journal Of Biological Process. ISSN: 2276-7762.
- Oh et al., 2010 dalam Zhu, Feng. Wancheng Wang. Ziaoyan Zhang. Guanhong Tao. 2011. *Electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell with down-flow feeding onto the cathode*. Bioresource Technology 102 (2011) 7324-7328
- Rabaey dan Verstaete, 2005 dalam Obasi. Livinus A, Charles C. Opera, Ken Okpala, Akuma Oji. 2013. *Effect Of Sodium Alginate on Proton Conductivity Of Cassava Starch In A Microbial Fuel Cell*. Greener Journal Of Biological Process. ISSN: 2276-7762.
- Rabaey dkk, 2005c dalam Mostafa Rahumnejad, Ghasem Nahafpour, dan Ali Asghar Ghoreyshi, 2011, *Effect of Mass transfer on Perfomance of Microbial Fuel Cells*. Babol Noshirvani Universit. Iran.
- Rochexel et al., 2008 dalam Leropoulos, Ioannis, Jonathan Winfield, And John Greenman. 2010. *Effects of Flow-Rate, Inoculum and Time On The Internal Resistance Of Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 101 (2010) 3520-3525.
- Yazid, FR.,Syafudin, dan Ganjar Samudro. 2012. Pengaruh Variasi Konsentrasi dan

Debit Pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB. Jurnal Presipitasi. Vol. 9 No.1 Maret 2012. ISSN 1907-187X

You, Shijie. Qingliang Zhao. Jinna Zhang. Junqiu Jiang. Shiqi Zhao. 2006. A Microbial Fuel Cells Using Permanganate as the cathodic electron acceptor. *Journal of Power Sources* 162 (2006) 1409-1415.

Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces Cerevisiae Dalam Sistem Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Listrik*. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.

Zhu, Feng. Wancheng Wang. Ziaoyan Zhang. Guanhong Tao. 2011. *Electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell with down-flow feeding onto the cathode*. *Biorresource Technology* 102 (2011) 7324-7328

Zhou, Minghua. Meling Chai, Jianmei Lou, Huanhuan He, Tau Jin. 2011. *An Overview Of Electrode Materials In Microbial Fuel Cells*. *Journal Of Power Sources*. 196 (2011) 4427-4435

