
PEMANFAATAN SISTEM *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF PADA PENGOLAHAN COD DALAM LINDI MENGGUNAKAN TUMBUHAN SENTE (*Alocasia macrorrhiza*)

Adistia Dian Kurniawati^{*)}, Badrus Zaman^{**)}, Purwono^{**)}

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email : adistiack@gmail.com

Abstrak

Lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar yang sangat tinggi, khususnya zat organik. Salah satu sistem yang efektif untuk mengolah COD pada lindi adalah sistem biologis, diantaranya adalah evapotranspirasi. Dari hasil pengolahan tersebut, akan lebih baik lagi apabila dimanfaatkan. Salah satu pengolahan yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan MFC (*Microbial Fuel Cell*). Penelitian ini dilakukan menggunakan metode evapotranspirasi dengan memanfaatkan mikroba yang ada untuk sumber energi alternatif menggunakan sistem MFC. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi energi listrik yang dihasilkan dari proses pengolahan lindi pada *microbial fuel cell* dengan sistem evapotranspirasi dan mengetahui tingkat efisiensi pengolahan COD dalam lindi menggunakan tanaman sente. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan sistem duplo reaktor dengan tanaman sente dan satu reaktor kontrol (tanpa taman). Tanah yang digunakan dalam reaktor adalah tanah TPA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi penyisihan konsentrasi COD selama pengujian reaktor berkisar antara 28% - 89%. Proses pengolahan lindi pada *microbial fuel cell* dengan sistem evapotranspirasi memiliki potensi energi listrik. Selama 15 hari masa penelitian nilai daya selama pengujian reaktor berkisar antara 2,15 μW - 104,78 μW .

Kata kunci: Lindi, Evapotranspirasi, MFC (*Microbial Fuel Cell*), COD, Listrik, Sente

Abstract

[Use of *Microbial Fuel Cell* (MFC) System as Source of Electrical Energy Alternative Treatment of COD in Leachate using Plant Sente (*Alocasia macrorrhiza*)]. Leachate, a liquid formed in piled solid waste in landfill, contains high-level of pollutants, especially organic compounds. One of biological processes that is effective for removing Chemical Oxygen Demand (COD) in leachate is evapotranspiration. This leachate treatment can be integrated with another purpose, such as electricity generation that is conducted by using *microbial fuel cell* (MFC) method. The purposes of this study were to analyze the removal efficiency of COD by evapotranspiration using Giant Taro plant and to determine the possible electrical energy that is generated from MFC system in evapotranspiration process. The experiment was conducted in a laboratory scale system consist of two Giant Taro plant reactors (main reactors) and one control reactor. The result showed that removal efficiency of COD ranged from 28% to 89%. The highest COD removal by main reactor was reached on the 12th day of experiment, that is 77%. The control reactor reached its highest performance (89% COD removed) on the 3rd day of experiment. The lowest COD removal by main reactor, 28%, was experienced on the 6th day. Whereas the minimum removal by control reactor was on the 9th day, that is 49%. As previously mentioned, electrical energy generation is also measured in this study. During the 15 days of experiment, the electrical energy generated was between 2,15 μW and 104,78 μW . The main reactor produced the highest electrical energy (104,78 μW) on the 14th day, while the control reactor produced the highest electrical energy (44,55 μW) on the last day of experiment. The least electrical energy generated from main reactor and control reactor was 2,15 μW (on the 3rd day) and 3,32 μW (on the 6th day), respectively.

Keywords: Leachate, evapotranspiration, MFC (*Microbial Fuel Cell*), COD, Electricity, Giant Taro

PENDAHULUAN

Lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar yang sangat tinggi, khususnya zat organik. Cairan tersebut kemudian mengisi rongga-rongga pada sampah, bila kapasitasnya telah melampaui kapasitas tekanan air dari sampah, maka cairan tersebut akan keluar dan mengekstraksi bahan organik dan an-organik hasil proses fisika, kimia dan biologis yang terjadi pada sampah (Pinem, et al, 2014). Lindi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah mempunyai potensi untuk membahayakan lingkungan, karena memiliki kandungan organik dan anorganik yang sangat tinggi seperti asam humat, senyawa xenobiotik (XOCs), amonia, dan logam berat (Ibrahimpasïæ, et al., 2010). Sampah organik (*biowaste*) mengandung materi karbon dan karbon di dalam limbah akan terdekomposisi dan membentuk materi terlarut yang diukur sebagai COD (*Chemical Oxygen Demand*). Parameter tersebut menunjukkan oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik di dalam limbah. Menurut Tchobanoglous, (1993), konsentrasi COD dari lindi yang kurang dari 2 tahun kandungannya adalah berkisar 3000-6000 mg/l.

Salah satu sistem yang efektif untuk mengolah COD pada lindi adalah sistem biologis. Sistem biologis merupakan sistem pengolahan limbah cair menggunakan makhluk hidup, seperti tumbuhan dan bakteri. Proses biologis menggunakan tumbuhan diantaranya adalah sistem evapotranspirasi. *Evapotranspiration (ET) bed* merupakan suatu metode pengolahan air limbah sebagai alternatif sistem absorpsi konvensional yang menggunakan tanaman dengan media dapat berupa tanah, pasir, sludge, maupun kerikil (Solomon, 1998). Beberapa jenis tanaman yang sering digunakan sebagai fitoremediasi adalah Anturium Merah/Kuning, Alamanda Kuning/Ungu, Akar Wangi, Bambu Air, Cana Presiden Merah/Kuning/Putih, Dahlia, Dracenia Merah/Hijau, Heleconia Kuning/Merah, Jaka, Keladi Loreng/Sente/Hitam, Kenyeri Merah/Putih,

Lotus Kuning/Merah, Onje Merah, Pacing Merah/Putih, Padi-padian, Papyrus, Pisang mas, Ponaderia, Sempol Merah/Putih, Spider Lili, pohon enau maupun pohon jarak, dan jenis tanaman lainnya yang mampu menyerap serta mengolah limbah secara alami (Irawanto, 2010). Penurunan konsentrasi COD pada reaktor terjadi akibat adanya penguraian bahan organik yang dilakukan oleh bakteri Rhizosphere yang berada pada akar tanaman kemudian dimanfaatkan tanaman untuk proses fotosintesis (Suriawiria, 1986, dalam Sagita, 2007, dalam Amalia *et al.*, 201). Pada penelitian ini akan digunakan tumbuhan yang banyak dijumpai di lingkungan TPA yaitu tumbuhan Sente. Klasifikasi *Alocasia macrorrhizos* berdasarkan kedudukannya dalam taksonomi tumbuhan sebagai berikut (Suhono dkk, 2010).

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Arales
Famili : Araceae
Genus : *Alocasia*
Spesies : *Alocasia macrorrhizos* (L)
G. Don



Gambar 1. Tumbuhan Sente

Tanaman juga mempengaruhi kondisi redoks dalam reaktor, karena kemampuan mereka untuk evapotranspirasi air itu, selanjutnya, menyebabkan variasi ketinggian air yang signifikan dalam reaktor dengan demikian, dapat mempengaruhi ketersediaan oksigen (Corbella and Puigagut, 2015). Dari hasil pengolahan tersebut, akan lebih baik lagi apabila dimanfaatkan. Salah satu pengolahan yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan MFC (*Microbial Fuel Cell*). Sistem MFCs ini akan memanfaatkan hasil dari proses metabolisme bakteri. Bakteri akan melakukan metabolisme dengan

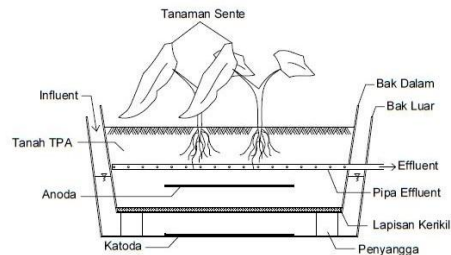
mengurai glukosa menjadi hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂). Hidrogen merupakan bahan baku yang digunakan untuk reaksi reduksi dengan oksigen, sehingga melepaskan elektron pada anoda sebagai sumber arus listrik. (Fitrialdi, 2011). Pertumbuhan manusia yang semakin meningkat menyebabkan permintaan energi listrik semakin besar sedangkan pasokan sumber energi listrik semakin menipis. Usaha penghasil listrik dapat dilakukan melalui teknologi *microbial fuel cell* (MFC) dengan memanfaatkan senyawa yang mengandung hidrogen atau senyawa yang menghasilkan elektron sehingga ramah lingkungan. Teknologi MFC merupakan *fuel cell* yang menggunakan materi organik, misalnya limbah organik, yang digunakan oleh mikroba sebagai substrat pertumbuhan dan nutrisi dalam melakukan aktivitas metabolisme (Mohan, et al., 2007). Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka diajukan penelitian tentang pemanfaatan sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai sumber energi listrik alternatif pada pengolahan COD dalam lindi menggunakan tumbuhan sente (*Alocasia Macrorrhiza*).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama 15 hari mulai dari tanggal 26 September 2016, di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Jenis penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium. Pada penelitian ini terdapat tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan serta tahap analisis data.

Studi literatur, pembuatan reaktor, aklimatisasi, hingga persiapan alat dan bahan dilakukan pada tahap persiapan. Selanjutnya pada tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan pengolahan lindi TPA Jatibarang dengan reaktor. Pembuatan reaktor dilakukan secara duplo (dua ulangan) untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Reaktor evapotranspirasi yang terdiri dari dua buah kontainer berkapasitas 15 liter di bagian dalam yang diberi lubang pada bagian dasarnya sebagai media tanam dan 30 liter di bagian luar sebagai influent, sehingga lindi akan masuk ke bagian dalam secara kapiler. Pada saat yang sama juga dibuat

rangkaian MFC yang berfungsi sebagai anoda dan katoda yang dibuat dari karbon. katoda ditempatkan pada bagian permukaan yang terekspos udara dan anoda pada bagian dasar reaktor. Rangkaian reaktor tersebut dibuat secara triplikasi untuk setiap jenis tumbuhan sehingga dibuat 3 buah reaktor yang tampak seperti gambar berikut:



Gambar 2. Desain Reaktor

Desain reaktor yang akan digunakan adalah menggunakan ember dengan volume sebesar $V = 15 \text{ liter} = 15.000 \text{ ml}$, dengan $t_d = 3 \text{ hari} = 259.200 \text{ detik}$ (Zaman et al., 2013), didapatkan debit aliran lindi sebesar $0,06 \text{ ml/s}$. Waktu pengambilan sampel pada saat H₃, H₆, H₉, H₁₂, dan H₁₅ untuk setiap parameter COD dan parameter Kontrol berupa pH dan Suhu. Sedangkan untuk parameter daya dan tegangan dilakukan setiap 24 jam selama 1 jam (perwakilan waktu) pengukuran.

Pengukuran produksi listrik didapatkan dari Arus (I) dan voltase (V) yang diukur setiap hari sekali menggunakan multimeter digital. Nilai kuat arus dan tegangan tersebut kemudian dikonversi ke daya P (μW) sesuai dengan rumus di bawah ini.

$$P = V \times I \quad (1)$$

Dimana:

P = daya (μW)

V = tegangan (volt)

I = kuat arus (μA)

Selain itu, untuk memperkirakan berapa persen elektron yang mungkin menjadi arus listrik dalam suatu pengolahan substrat digunakan istilah *coulombic efficiency*. Pada kondisi kontinyu, *coulombic efficiency* dihitung berdasarkan arus yang diproduksi kondisi tetap (Logan et al, 2006).

$$\frac{Ms I}{F bes Q \Delta COD} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

- Ms = Berat molekul Oksigen (32 g/mol)
 I = Kuat Arus
 F = Konstanta Faraday (96500)
 bes = Jumlah pertukaran elektron per mol oksigen (4)
 Q = Debit effluent
 Δ COD = perbedaan COD influen dan effluen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Hasil Sampling

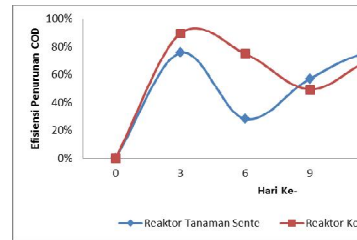
Tabel 1. Karakteristik Lindi TPA Jatibarang

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Baku Mutu*
1.	pH	-	8,9	6-9
2.	Suhu	°C	27,7	38
3.	COD	(mg/L)	4200	100
4.	Salinitas	ppt	13,27	

* Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Lampiran IX (Baku Mutu Air Limbah Untuk Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Ditetapkan Baku Mutunya) golongan I.

Penyisihan COD

Konsentrasi awal COD merupakan konsentrasi COD pada saat uji pendahuluan yaitu sebesar 4.200 mg/l. Lindi yang akan digunakan untuk *running*, terlebih dahulu diencerkan menggunakan air tawar untuk mendapatkan nilai salinitas yang sesuai untuk tanaman, sehingga didapat konsentrasi COD lindi setelah diencerkan dengan air tawar adalah sebesar 1.325 mg/l. Berikut ini merupakan efisiensi penyisihan konsentrasi COD dari rata-rata kedua reaktor tanaman sente dan efisiensi penyisihan konsentrasi COD pada reaktor kontrol dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Grafik Penurunan Suhu

Jika dilihat dari gambar 3 dapat dilihat terjadi fluktuasi efisiensi penyisihan konsentrasi COD. Pada hari ke 3 efisiensi penyisihan COD di reaktor kontrol sebesar 89%, sedangkan efisiensi penyisihan COD di reaktor tanaman sente memiliki nilai lebih rendah, yaitu sebesar 79%. Pada hari ke 6 efisiensi penyisihan COD menurun jika dibandingkan dengan hari ke 3, di reaktor kontrol sebesar 75%, sedangkan reaktor tanaman sente memiliki nilai lebih rendah, yaitu sebesar 28%. Hal ini memperlihatkan bahwa tanaman belum begitu berperan dalam penyisihan polutan, tetapi media yang lebih berperan. Penyisihan COD yang terjadi dalam reaktor terutama terjadi akibat proses fisik berupa filtrasi yang dibantu oleh pendegradasian materi-materi organik yang terperangkap diantara media oleh mikroorganisme pendegradasian (Ariany T, 2014). Muhajir (2013) menyatakan bahwa penurunan nilai COD disebabkan karena bahan padatan telah mulai mengendap sehingga bahan buangan di air limbah juga berkurang. Kemungkinan lainnya adalah bakteri-bakteri yang tumbuh dalam media pasir lebih berpengaruh dalam pengolahan lindi daripada bakteri yang berasal dari tumbuhan (Nurulhuda, 2010 dalam Ariany T, 2014).

Pada hari ke 9, 12, dan 15, peran tanaman sudah terlihat. Terbukti dengan efisiensi penyisihan COD pada Reaktor Tanaman Sente lebih besar dibandingkan dengan Reaktor Kontrol. Penurunan nilai COD dipengaruhi oleh tanaman, mikroorganisme dan waktu tinggal. Kemampuan penurunan kandungan COD meningkat pada proses lamanya waktu tinggal.

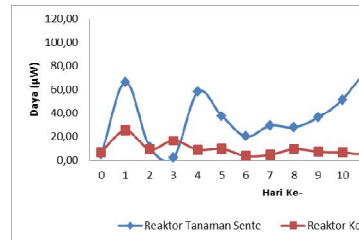
Selisih efisiensi penyisihan COD antara reaktor tanaman sente dengan reaktor kontrol sudah stabil. Pada hari ke 9 efisiensi

penyisihan COD di reaktor kontrol menurun jika dibandingkan hari ke 6, yaitu sebesar 49%, sedangkan efisiensi penyisihan COD di reaktor tanaman sente meningkat jika dibandingkan dengan hari ke 6, yaitu sebesar 57%. Pada hari ke 12 efisiensi penyisihan COD di reaktor kontrol dan reaktor tanaman sente meningkat jika dibandingkan hari ke 9, yaitu sebesar 70% dan 77%. Peningkatan efisiensi penyisihan COD ini dapat disebabkan karena peran mikroorganisme dan tumbuhan. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Supradata (2005), bahan organik yang terdapat didalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Pada hari ke 15 efisiensi penyisihan COD di reaktor kontrol dan reaktor tanaman sente mengalami penurunan jika dibandingkan hari ke 12, yaitu sebesar 56% dan 65%. Terlihat bahwa penyisihan COD sudah membentuk pola yang teratur, baik di reaktor kontrol maupun di reaktor tanaman sente. Terjadi penurunan efisiensi penyisihan konsentrasi COD pada hari ke enam. Hal ini kemungkinan disebabkan senyawa-senyawa yang terlibat dalam proses degradasi menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih sederhana yang dapat mempengaruhi nilai COD (Parasara *et al.*, 2015).

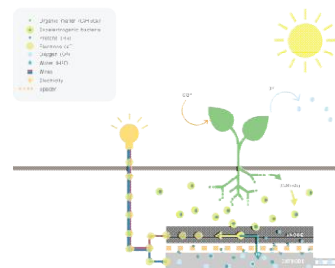
Produksi Listrik

Selama pengujian reaktor ini dilakukan pengukuran tegangan (v) dan kuat arus (I) untuk nantinya didapatkan daya (P) dan *power density* yang dihasilkan dari masing-masing reaktor. Fluktuasi produksi listrik selama pengujian reaktor, dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4. Grafik Produksi Listrik

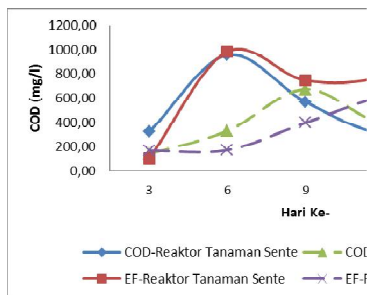
Dapat dilihat dari Gambar 4 bahwa produksi listrik di Reaktor Tanaman Sente masih dibawah Reaktor Kontrol (tanpa tanaman) pada hari ke 0 dan 3. Hal ini memperlihatkan bahwa pada hari ke 0 dan 3, tanaman belum begitu berperan dalam produksi listrik, dikarenakan akar tanaman yang berperan untuk tempat hidup mikroba yang akan menghasilkan listrik belum berkembang. Setelah hari ke 3, peran tanaman sudah terlihat. Terbukti dengan produksi listrik pada Reaktor Tanaman Sente terus meningkat dan lebih besar dibandingkan dengan Reaktor Kontrol. Listrik dapat dihasilkan karena, reaktor memanfaatkan energi matahari sebagai pembangkit listrik oleh bakteri melalui oksidasi senyawa organik dan deposisi senyawa organik oleh akar pada tanaman (Timmers *et al.*, 2010). Berikut merupakan gambar proses produksi listrik pada reaktor:



Gambar 5. Reaksi Produksi Listrik

Gambar 5 menjelaskan reaksi utama untuk keseluruhan proses produksi listrik adalah akar tanaman mengeluarkan O_2 dan $(CH_2O)_n$, kemudian dihasilkan elektron pada anoda dari proses degradasi anaerobik $(CH_2O)_n$ dan $C_6H_{12}O_6$, setelah itu NH_4^+ dikonversi ke NO_3^- oleh bakteri nitrifikasi di rizosfer, lalu O_2 dan NO_3^- Yang akseptor elektron di katoda (Liu, *et al.*, 2013).

Dari grafik (Gambar 4) juga dapat dilihat bahwa waktu tinggal berpengaruh terhadap produksi listrik. Semakin lama waktu tinggal proses yang terjadi, semakin besar pula produksi listriknya. Hal ini, karenasemakin rendah laju alir maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yangterdapat di dalam limbah berlangsung baik, karena kontak antara mikroorganismedengan limbah berlangsung cukup lama (Nugraheni, 2008). Hubungan produksi listrik dengan pendegradasian bahan-bahan organik seperti COD dapat diketahui dari efisiensi *coulombic* yang didapatkan setelah mengetahui perubahan konsentrasi COD dan kuat arus yang dihasilkan selama pengujian reaktor.



Gambar 6. Grafik Hubungan Efisiensi Coulombic dengan Penyisihan COD

Dapat dilihat dari Gambar 6 bahwa efisiensi *coulombic* di Reaktor Tanaman Sente lebih tinggi dibandingkan dengan Reaktor Kontrol (tanpa tanaman). Selain itu, dari grafik dapat dilihat juga bahwa, semakin kecil nilai konsentrasi *effluent* COD, akan membuat nilai efisiensi *coulombic* semakin besar. Dengan kata lain, semakin besar penyisihan COD pada reaktor, akan semakin besar pula efisiensi *coulombic* yang dihasilkan. Namun, nilai efisiensi *coulombic* terbesar yang dihasilkan selama pengujian reaktor hanya sebesar 0,076%. Dalam hal ini tampak bahwa pengolahan limbah tidak sepenuhnya ditransfer menjadi arus listrik melalui rangkaian eksternal. Kondisi ideal terjadi ketika Efisiensi *Coulombic* (ϵC) mencapai nilai 100% artinya semua elektron yang dihasilkan akan diubah menjadi arus listrik (Logan, 2007 dalam Purwono, et al., 2015). Rendahnya ϵC kemungkinan disebabkan oleh aktifitas pembentukan biofilm pada

permukaan elektroda anoda. Pada proses pengolahan awal, energi yang dihasilkan dari metabolisme bahan organik (dinyatakan sebagai COD awal) sebagian besar digunakan untuk membentuk biofilm. Elektroda karbon pada kompartemenanoda *MFCs* juga berperan menjadi media lekatbagi mikroorganismes untuk membentuk biofilm. Selain sel bakteri hidup dan sel bakteri yang matidapat membentuk lapisan pada permukaananoda semakin bertambah. Terbentuknya biofilmini dapat mengakibatkanpeningkatan hambatan dalam di anoda (Kim, et al., 2003 dalam Purwono, et al., 2015).

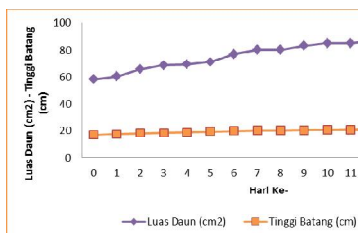
Analisis kuantitatif dilakukan uji statistik dengan menggunakan SPSS 16.0. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara penyisihan COD dengan produksi listrik. Pada analisis statistik mensyaratkan data berdistribusi normal (Priyatno, 2014). Normalitas data merupakan hal yang penting karena dengan data yang terdistribusi normal, maka data tersebut dapat mewakili populasi. Dari uji normalitas (Tabel A.3.1) didapatkan nilai *Kolmogorov-Smirnov Z* COD reaktor sente 0,62, daya reaktor sente 0,485, COD reaktor kontrol 0,585, dan daya reaktor kontrol 0,634. Nilai *Kolmogorov-Smirnov Z* pada masing-masing variabel $> 0,05$, maka dapat dinyatakan bahwa nilai variabel tersebut adalah normal.

Uji hubungan untuk mengetahui analisa hubungan dan seberapa besar pengaruh penyisihan konsentrasi COD terhadap produksi listrik pada lindi dapat dilihat pada Tabel A.3.2. Berdasarkan hasil uji korelasi, dapat diketahui bahwa korelasi antara variabel COD reaktor sente dengan daya reaktor sente didapat nilai korelasi sebesar -0.481. Angka korelasi yang negatif menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang negatif, artinya semakin menurun konsentrasi COD reaktor sente maka daya reaktor sente semakin meningkat. Nilai tersebut masuk kedalam kategori koefisien korelasi yang sedang. Sedangkan korelasi antara variabel COD reaktor kontrol dengan daya reaktor kontrol didapat nilai korelasi sebesar -0,244. Sama dengan korelasi reaktor sente, nilai korelasi reaktor kontrol memiliki hubungan negatif dan masuk kedalam kategori rendah. Nilai signifikansi dari Tabel

A.3.2 menunjukkan bahwa hubungan antara variabel COD reaktor sente dengan daya reaktor sente didapat nilai korelasi sebesar 0,334, dan untuk hubungan antara variabel COD reaktor kontrol dengan daya reaktor kontrol didapat nilai korelasi sebesar 0,641. Dari nilai signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variable COD reaktor sente terhadap daya reaktor sente dan variable COD reaktor kontrol terhadap daya reaktor kontrol tersebut adalah tidak terlalu signifikan. Maksudnya adalah, variabel COD reaktor sente dan COD reaktor kontrol memberikan kontribusi yang tidak cukup besar terhadap daya reaktor sente dan daya reaktor kontrol. Sedangkan untuk menjelaskan besarnya pengaruh COD reaktor sente dan COD reaktor kontrol terhadap daya reaktor sente dan daya reaktor kontrol, dapat dilihat pada Tabel A.3.3. Koefisien determinasinya (R^2) adalah 0,231 yang artinya bahwa kedua faktor tersebut mempengaruhi daya reaktor sente dan kontrol sebesar 23,1%. Sedangkan 76,9% lainnya dipengaruhi oleh sebab-sebab lain yang tidak dijelaskan pada penelitian ini. Pada uji regresi didapatkan nilai F sebesar 1,205 dengan sig 0,334 (Tabel A.3.4). Berdasarkan persyaratan signifikansi maka didapatkan hasil bahwa COD reaktor sente dan kontrol tidak terlalu berpengaruh terhadap daya reaktor sente dan kontrol ($0,334 > 0,05$).

Pertumbuhan Sente

Selama pengujian reaktordilakukan pengukuran pertumbuhan tanaman sente setiap harinya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh air lindi terhadap pertumbuhan tanaman sente. Berikut dapat dilihat data pertumbuhan tanaman sente selama pengujian reaktor pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Luas Daun dan Tinggi Batang Tanaman Sente

Dari data (Gambar 7) dapat diketahui bahwa tumbuhan sente (*Alocasia macrorrhiza*) mampu tumbuh dengan air lindi. Pertambahan tinggi batang dan luas daun membuktikan bahwa sente dapat berkembang pada kondisi air lindi. Kondisi tumbuhan sente pada hari terakhir pengujian reaktor dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 8. Kondisi Tumbuhan Sente (a) Reaktor 1 (b) Reaktor 2

Tanaman sente pada pengujian reaktor memiliki pengaruh terhadap nilai konsentrasi COD. Hal ini dilihat dari peran tanaman sebagai pereduksi polutan dalam lindi. Berikut merupakan nilai COD dan pertumbuhan tanaman selama pengujian reaktor.

Tabel 2. Nilai Pertumbuhan Tanaman Sente dan Konsentrasi COD Selama Pengujian

Hari Ke-	Pertumbuhan		Konsentrasi COD (mg/l)	
	Luas Daun (cm ²)	Tinggi Batang (cm)	Reaktor	Kontrol
0	58,23	16,88	1325	1325
3	68,94	18,30	321,67	139,67
6	77,10	19,81	955,83	330
9	83,21	20,40	569,17	673,33
12	86,89	21,06	310,83	398,33
15	87,05	21,70	460,83	581,67

Data diatas (Tabel 2) menunjukkan bahwa, semakin bertumbuhnya tanaman pada reaktor, semakin besar pula penyisihan konsentrasi COD yang terjadi. Tanaman sente pada reaktor semakin bertumbuh, tinggi batang, luas daun, dan diduga perakarannya juga berkembang sejalan dengan bertumbuhnya fisik tumbuhan. Pertumbuhan akar ini, akan mempengaruhi kemampuan reaktor dalam menyisihkan polutan, salah satunya adalah COD.

Penurunan nilai COD tersebut disebabkan karena bahan padatan telah mulai mengendap dan tersaring oleh akar sehingga bahan buangan di air limbah juga berkurang. Proses filtrasi dilakukan oleh media dan akar tanaman yang terdapat dalam reaktor, dimana proses tersebut terjadi karena kemampuan partikel-partikel media maupun sistem perakaran membentuk filter yang dapat menahan partikel-partikel solid yang terdapat dalam air limbah (Tangahu dan Warmadewanthi, 2010).

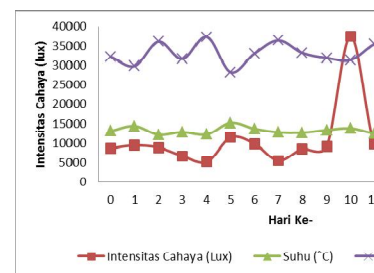
Analisis kuantitatif dilakukan uji statistik dengan menggunakan SPSS 16.0. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara pertumbuhan tanaman sente dengan penyisihan konsentrasi COD. Pada analisis statistik mensyaratkan data berdistribusi normal (Priyatno, 2014). Normalitas data merupakan hal yang penting karena dengan data yang terdistribusi normal, maka data tersebut dapat mewakili populasi. Dari uji normalitas (Tabel A.3.5) didapatkan nilai *Kolmogorov-Smirnov Z* COD reaktor sente 0,62, luas daun 0,512, dan tinggi batang 0,472. Nilai *Kolmogorov-Smirnov Z* pada masing-masing variabel $> 0,05$, maka dapat dinyatakan bahwa nilai variabel tersebut adalah normal.

Uji hubungan untuk mengetahui analisa hubungan dan seberapa besar pengaruh luas daun dan tinggi batang terhadap penyisihan konsentrasi COD pada lindi dapat dilihat pada Tabel A.3.6. Berdasarkan hasil uji korelasi, dapat diketahui bahwa korelasi antara variabel COD reaktor sente dengan luas daun didapat nilai korelasi sebesar -0,684. Angka korelasi yang negatif menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang negatif, artinya semakin menurun konsentrasi COD reaktor sente maka luas daun sente semakin meningkat. Nilai tersebut masuk kedalam kategori koefisien korelasi yang kuat. Sedangkan korelasi antara variabel COD reaktor sente dengan tinggi batang didapat nilai korelasi sebesar -0,634. Sama dengan korelasi COD reaktor sente dengan luas daun, nilai korelasi COD reaktor sente dengan tinggi batang memiliki hubungan negatif dan masuk kedalam kategori kuat. Nilai signifikansi dari Tabel A.3.6 menunjukkan bahwa hubungan antara

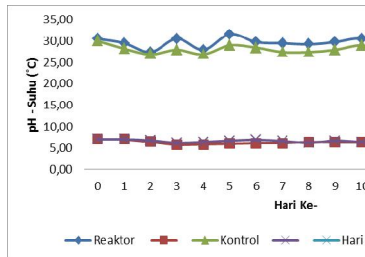
variabel COD reaktor sente dengan luas daun didapat nilai korelasi sebesar 0,134, dan untuk hubungan antara variabel COD reaktor sente dengan tinggi batang didapat nilai korelasi sebesar 0,177. Dari nilai signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variabel COD reaktor sente terhadap luas daun dan variabel COD reaktor sente terhadap tinggi batang tersebut adalah tidak terlalu signifikan. Maksudnya adalah, variabel luas daun dan tinggi batang memberikan kontribusi yang tidak cukup besar terhadap COD reaktor sente. Sedangkan untuk menjelaskan besarnya pengaruh luas daun dan tinggi batang terhadap COD reaktor sente, dapat dilihat pada Tabel A.3.7. Koefisien determinasinya (R^2) adalah 0,558 yang artinya bahwa kedua faktor tersebut mempengaruhi COD reaktor sente sebesar 55,8%. Sedangkan 44,2% lainnya dipengaruhi oleh sebab-sebab lain yang tidak dijelaskan pada penelitian ini. Pada uji regresi didapatkan nilai F sebesar 1,892 dengan sig 0,294 (Tabel A.3.8). Berdasarkan persyaratan signifikansi maka didapatkan hasil bahwa luas daun dan tinggi batang tidak terlalu berpengaruh terhadap COD reaktor sente ($0,294 > 0,05$).

Kondisi Fisik Lingkungan Selama Pengujian Reaktor

Pemantauan yang dilakukan adalah berupa pengukuran intensitas cahaya, suhu, kelembaban, dan pH. Pengukuran kondisi fisik ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan cuaca dan iklim pada saat *running* sehingga dapat diketahui pengaruh kondisi fisik dengan pertumbuhan tanaman sente. Kondisi fisik lingkungan dan reaktor selama *running* dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10 berikut.



Gambar 9. Grafik Kondisi Fisik Lingkungan Green House



Gambar 10. Grafik Kondisi Fisik Reaktor Tahap Running

Kondisi fisik pada saat tahap *running* tersebut, masih sesuai dengan syarat tumbuh tanaman sente. Menurut buku *Tips Merawat Tanaman Hias*, syarat tumbuh untuk tanaman *Alocasia* adalah membutuhkan cahaya 4305,56 lux atau setidaknya membutuhkan paranet 60%, suhu ideal bagi tanaman ini adalah 20 - 25°C dengan kelembapan 75%. Namun, beberapa jenis *Alocasia* berukuran besar, seperti *A. Macrorrhizos*, *A. Gigantea*, dan *A. Calidora* menyukai paparan matahari penuh

Selain itu dilakukan pula pengukuran salinitas lindi pada *influent* dan *effluent*. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan bahwa salinitas sedikit banyak mempengaruhi konsentrasi COD pada *effluent*. Berikut merupakan hasil pengukuran salinitas pada *effluent* masing-masing lindi.

Tabel 3. Salinitas Masing-Masing Reaktor

Hari Ke-	UJI SALINITAS		KONSENTRASI COD	
	Reaktor (ppt)	Kontrol (ppt)	Reaktor (mg/l)	Kontrol (mg/l)
0	4,5	4,5	1325,00	1325,00
3	1,05	0,7	321,67	139,67
6	1,7	1,8	955,83	330,00
9	2	2,3	569,17	673,33
12	2,25	2,1	310,83	398,33
15	2,4	2,3	460,83	581,67

Dapat dilihat dari Tabel 3, jika nilai salinitas diawal menurun, namun semakin meningkat hingga hari terakhir penelitian. Terjadinya penurunan lalu kenaikan konsentrasi salinitas hingga hari terakhir disebabkan karena tumbuhan tidak

memiliki kemampuan menyerap salinitas yang terlalu berlebih. Salinitas yang tinggi menyebabkan terjadinya gangguan tekanan osmotik dan ion pada tumbuhan sehingga dapat menyebabkan perubahan morfologi, fisiologis (Nia'am dan Warmadewanthi, 2013). Sedangkan untuk konsentrasi COD mengalami fluktuasi. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Dincer dan Kargi (1996) yang menyatakan bahwa kenaikan kadar garam akan menyebabkan terjadinya plasmolisis yang menyebabkan mikroorganisme lebih banyak kehilangan air sehingga mikroorganisme akan mati. Hal ini menyebabkan efisiensi removal akan mengalami penurunan. Selain itu, penurunan efisiensi oleh tumbuhan disebabkan karena salinitas menjadi faktor stress yang berdampak buruk bagi tumbuhan, yaitu melalui penurunan potensial air pada akar dimana tingginya salinitas di luar akar membuat akar lebih sulit menyerap air, toksisitas ion karena penyerapan Na⁺ atau Cl⁻ yang berlebihan dalam sel tumbuhan sehingga menghambat proses enzimatis, dan ketidakseimbangan ion nutrien. Efek ini dapat mengganggu fungsi fisiologis dan biokimia dari sel dan akhirnya mengarah ke kematian sel (Mansour dan Salama, 2004; Jampeetong dan Brix, 2009).

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

Proses pengolahan lindi pada *microbial fuel cell* dengan sistem evapotranspirasi memiliki potensi energi listrik. Selama 15 hari masa penelitian nilai daya selama pengujian reaktor berkisar antara 2,15 μW – 104,78 μW. Daya terbesar di Reaktor Tanaman Sente terjadi pada hari ke 14, yaitu sebesar 104,78 μW, sedangkan untuk Reaktor kontrol daya terbesar terjadi pada hari ke 15, yaitu sebesar 44,55 μW. Sedangkan daya terkecil di Reaktor Tanaman Sente terjadi pada hari ke 3, yaitu sebesar 2,15 μW, untuk Reaktor kontrol daya terkecil terjadi pada hari ke 6, yaitu sebesar 3,32 μW.

2. Nilai efisiensi penyisihan konsentrasi COD selama pengujian reaktor berkisar antara 28% - 89%. Penyisihan terbesar di Reaktor Tanaman Sente terjadi pada hari ke 12, yaitu sebesar 77%. Reaktor Kontrol mengalami efisiensi penyisihan COD terbesar pada hari ke 3, yaitu sebesar 89%. Efisiensi penyisihan COD terkecil di Reaktor Tanaman Sente terjadi pada hari ke 6, yaitu sebesar 28%. Sedangkan untuk Reaktor Kontrol terjadi pada hari ke 9 yaitu sebesar 49%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariany T, Dyvia, Badrus Zaman, and Titik Istirokhatun. 2014. "Penyisihan BOD dan COD dalam Lindi pada Constructed Wetland Menggunakan *Typha Angsutifolia* Dengan Pengaruh Debit Dan Jumlah Tumbuhan Yang Berbeda (Studi Kasus : Tempat Pembuangan Sampah Kawasan Industri Terboyo, Semarang, Jawa Tengah)" Undip.
- Jampeetong, Arunothai dan Brix, Hans., (2009). *Effects of NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of Salvinia natans*, *Aquatic Botany*, Vol.91, p.181-186.
- Kargi, F., Dincer, A.R. 1996. *Efect of Salt Concentration on Biological Treatment of Saline Wastewater by Fed-Batch Operation*. *Enzyme and Microbial Technology*, 19, 681- 687.
- Kim, B.H, Chang I.S, Gil, G.C, Park H.S, Kim H.J.2003. *Novel BOD sensor using mediatorless microbial fuel cell*. *Biotechnol.Lett*. 25: 541-545.
- Logan, B.E.2007. *Microbial Fuel Cells*. Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-23948
- Nugraheni, 2008 dalam Yazid, Fauzia R., 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
- Liu, Shentan, et al. "Power generation enhancement by utilizing plant photosynthate in microbial fuel cell coupled constructed wetland system." *International Journal of Photoenergy* 2013 (2013).
- Mangkoedihardjo, S., dan Ganjar, S. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu.
- Mansour, Mohamed Magdy F. dan Salama., Karima H.A., (2004). *Cellular basis of salinity tolerance in plants, Environmental and Experimental Botany*, Vol.52, p.113-122.
- Muhajir, Mika Septiawan. *Penurunan Limbah Cair BOD Dan COD Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (Typha Angustifolia) Dengan Sistem Constructed Wetland*. Diss. Universitas Negeri Semarang, 2013.
- Purwono, P., Hermawan, H., & Hadiyanto, H. (2015). *Penggunaan Teknologi Reaktor Microbial Fuel Cells (Mfcs) dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu untuk Menghasilkan Energi Listrik*. *Jurnal Presipitasi*, 12(2), 57-65.
- Supradata, 2005 " *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius dalam Ssstem Lahan Basah Aliran Permukaan (SSF Wetland)*" Tesis Magister Lingkungan
- Tangahu, B. V. dan Warmadewanthi, I. D. A. A. 2001. *Pengelolaan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (Typha angustifolia) dalam Sistem Constructed Wetland*. *jurnal Purifikasi*, Volume 2 Nomor 3, ITS - Surabaya.
- Timmers, Ruud A., et al. "Long-term performance of a plant microbial fuel cell with *Spartina anglica*." *Applied microbiology and biotechnology* 86.3 (2010): 973-981.