

PEMANFAATAN SISTEM *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF PADA PENGOLAHAN COD DALAM LINDI MENGGUNAKAN RUMPUT BELULANG (*Eleusine indica*)

Amalia Fildzah^{*)}, Badrus Zaman^{)}, Purwono^{**)}**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email: amelf301@gmail.com

Abstrak

Lindi TPA Jatibarang memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi dan adanya kandungan tersebut dapat mencemari lingkungan apabila langsung dikembalikan ke lingkungan tanpa adanya pengolahan. Pengolahan lindi menggunakan metode menggabungkan sistem evapotranspirasi dan MFC dapat dijadikan sebagai alternatif pengolahan lindi TPA Jatibarang karena selain dapat mengurangi kandungan senyawa organik, pengolahan ini juga dapat menghasilkan alternatif energi terbarukan. Penelitian ini dilakukan menggunakan tanaman Rumput Belulang untuk mengolah atau mengurangi kandungan COD dalam lindi, tujuannya untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penurunan COD yang dapat dilakukan oleh rumput belulang. Proses pengurangan konsentrasi COD oleh tanaman ini, akan dihasilkan bakteri-bakteri yg keluar di akar dan kemudian bakteri ini akan digunakan oleh elektroda untuk menghasilkan listrik. Penelitian ini menggunakan 3 reaktor, dimana reaktor pertama berupa reaktor kontrol, dan dua reaktor lainnya merupakan reaktor duplo. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD terbesar terdapat pada reaktor tanaman rumput belulang yaitu sebesar 90,34%, dan hasil daya listrik terbesar terdapat pada reaktor kontrol sebesar 44,55 μW .

Kata kunci: Lindi, Microbial Fuel Cell, COD, Rumput Belulang, Listrik

Abstract

[The Use of Microbial Fuel Cell System (MFC) as a Source of Alternative Renewable Electricity Energy Enewable at Processing COD in Lindi using Grass Become (*Eleusine indica*)]. Landfill leachate Jatibarang have a high organic matter content and that content can contaminate the environment when directly return to the environment without any treatment. Leachate treatment using the method of combining evaporation system and MFC can be used as an alternative treatment of landfill leachate Jatibarang since it could reduce the organic matter, this treatment can also produce renewable alternatives energy. This research used goose grass to reduce COD content in the leachate, in order to know how big is the COD removal efficiency which can be done by goose grass. The process of reducing COD concentration by this plant will produce bacteria that come out from the root and then the bacteria will be used by the electrodes to generate electricity. This study uses three reactors, where the first reactor in the form of control reactor and two other reactors are Duplo reactors. The study was conducted in a laboratory scale. The results showed that the COD removal efficiency of the largest found in the plant goose grass reactor in the amount of 90.34%, and the results of the largest electric power contained in the control reactor amounted to 44.55 μW .

Keywords: leachate, Microbial Fuel Cell, COD, goose grass, electricity

PENDAHULUAN

Lindi adalah air hasil degradasi dari sampah dan dapat menimbulkan pencemaran apabila tidak diolah terlebih dahulu sebelum di buang ke lingkungan. Lindi ini pada umumnya bersifat toksik karena mengandung mikroorganisme dalam jumlah tinggi, mengandung logam berat yang berbahaya jika terpapar ke lingkungan, dan lain-lain. Selain itu tingkat kemampuan degradasi air lindi di alam rendah, hal ini ditandai dengan rendahnya nilai rasio BOD/COD (Trihadiningrum, 1995).

Lindi berpotensi mencemari tanah, air tanah dan air permukaan. Secara umum parameter yang terkandung dalam lindi dengan konsentrasi yang tinggi selain BOD dan COD adalah amonium dengan rentang sekitar 200-1200 mg/l. Berbagai sistem pengolahan COD dalam lindi dapat dilakukan melalui proses fisik, kimia dan biologis. Pengolahan air lindi dengan sistem fisik-kimia meskipun menunjukkan hasil yang menjanjikan, dalam prosesnya membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Untuk mengatasi beberapa kekurangan yang ada pada sistem fisik-kimia dapat dilakukan dengan pengolahan sistem biologis yang menunjukkan hasil yang efektif tetapi relatif tidak mahal (Zaman *et al.*, 2013).

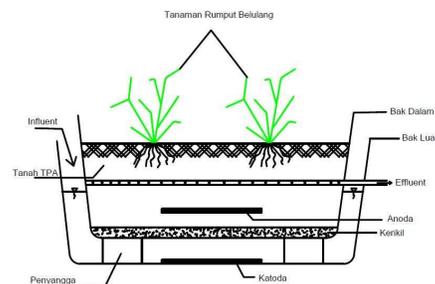
Berdasarkan hal tersebut, limbah yang dihasilkan oleh TPA haruslah melalui pengolahan terlebih dahulu sebelum dikembalikan lagi ke lingkungan. Limbah cair ini dapat diolah dengan menggunakan sistem evapotranspirasi. Dengan adanya sistem evapotranspirasi, variasi tingkat air akan signifikan dan menyebabkan kenaikan jumlah oksigen. Meningkatnya jumlah oksigen tersebut akan digunakan oleh katoda untuk menghasilkan potensi listrik sehingga listrik yang dihasilkan semakin banyak (Corbella *et al.*, 2015). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk dapat mengurangi kandungan pencemar pada lindi serta menghasilkan energi listrik alternatif.

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efisiensi pengolahan COD dalam lindi dengan sistem evapotranspirasi menggunakan rumput belulang (*Eleusine indica*).
2. Mengkaji potensi energi listrik terbarukan dari hasil pengolahan lindi dengan sistem evapotranspirasi menggunakan rumput belulang (*Eleusine indica*).

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, digunakan tiga reaktor, satu sebagai kontrol dan dua sebagai reaktor uji yang memiliki perlakuan sama, sehingga untuk variabel yang diamati adalah penurunan konsentrasi COD dalam lindi dan produksi listrik. Kedua parameter ini diamati karena seiring dengan berjalannya proses di dalam reaktor, akan terjadi perubahan baik secara signifikan maupun tidak. Selain itu, perlu diamati pH pada proses karena semua proses penelitian yang berbasis mikroba akan dipengaruhi oleh nilai pH.



Gambar 1. Reaktor MFC

Desain reaktor yang digunakan dalam penelitian ini seperti terlihat pada gambar 3.2, dengan volume sebesar $V = 15$ liter = 15.000 mL. Sehingga didapatkan debit aliran lindi sebesar :

$$Q_{\text{inlet}} = \frac{v}{td} = \frac{15.000 \text{ mL}}{259.200 \text{ detik}} = 0,06 \text{ mL/detik}$$

Efisiensi penyisihan COD dihitung menggunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{inlet}} - C_{\text{outlet}}}{C_{\text{inlet}}} \times 100\%$$

dimana : ε = efisiensi penyisihan COD (%)
 C_{inlet} = konsentrasi COD awal (mg/L)
 C_{outlet} = konsentrasi COD saat hari ke-n (mg/L)
Daya listrik dari reaktor MFC dihitung menggunakan rumus :
 $P = V \times I$
dimana : P = daya listrik (μW)
V = tegangan listrik (V)
I = kuat arus listrik (μA)

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Lindi TPA Jatibarang

Uji karakteristik lindi TPA Jatibarang, Semarang dilakukan dengan mengukur konsentrasi COD, suhu, pH dan salinitas yang terkandung didalam lindi yang akan digunakan dalam penelitian. Hasil uji kualitas lindi TPA Jatibarang, Semarang sebelum diolah tercantum dalam tabel 1 berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Awal Lindi TPA Jatibarang

No.	Parameter	Hasil Uji
1.	COD	4.200 mg/l
2.	pH	8,9
3.	Suhu	27,7 °C
4.	Salinitas	13,27 ppt

Berdasarkan pengujian lindi, diketahui bahwa parameter COD dalam lindi TPA Jatibarang, Semarang sebesar 4200 mg/l, dimana berarti 42 kali lipat melebihi baku mutu yang tercantum dalam Peraturan Daerah Provinsi Jateng No. 5 Tahun 2012, dan harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Parameter pH yang terukur dari lindi sebesar 8,9, dimana masih memenuhi baku mutu yaitu antara 6-9. Nilai BOD₅ yang terkandung di dalam lindi TPA Jatibarang ini terukur sebesar 1250 mg/l, dimana baku mutu BOD yang diperbolehkan untuk dikembalikan ke lingkungan hanya sebesar 50 mg/l, yang artinya kandungan BOD dalam lindi 25 kali lebih banyak dibandingkan dengan baku mutu.

Berdasarkan data karakteristik tersebut, rasio BOD/COD pada lindi TPA

Jatibarang adalah sebesar 0,3, sedangkan syarat untuk pengolahan dengan proses biologis range biodegradable yaitu 0,2-0,5 (Mangkoediharjo, 2010). Terdapat zona-zona pada rasio BOD/COD yang terbagi menjadi tiga, zona stabil, zona biodegradable, dan zona toksik. Menurut Fresenius et al. (1989), rasio BOD/COD antara 0,2 dan 0,5 dapat diolah dengan proses biologis, tetapi proses dekomposisinya lebih lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi dengan limbah tersebut.

Kadar salinitas yang terdapat dalam lindi sebesar 13,27 ppt, sehingga sebelum lindi masuk ke raktor MFC, lindi harus diencerkan terlebih dahulu agar kadar salinitasnya berada dibawah 6 ppt. Jika nilai salinitas pada air melebihi 6 ppt (untuk tanaman darat), maka kandungan salinitas harus diturunkan agar nilai salinitas kurang dari 6 ppt. Nilai salinitas yang melebihi 6 ppt akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman, dan bisa menyebabkan tanaman tidak tumbuh.

Parameter salinitas dilakukan pengukuran supaya dapat diketahui berapa besar nilai salinitas di dalam lindi. Menurut Departemen Pertanian, salinitas adalah tingkat keracunan tanah yang disebabkan karena tingginya kadar garam terlarut dalam tanah. Salinitas menurut Boyd (1982) adalah kadar seluruh ion – ion yang terlarut dalam air. Sedangkan salinitas air adalah tingkat keasinan atau kadar garam yang terlarut dalam air. Satuan salinitas bisa dinyatakan dalam gram garam per kilogram air, atau juga bisa dalam bagian per seribu (ppt atau ‰).

Menurut Purnomo (2014), zat hara esensial adalah unsur hara yang kebutuhannya tidak dapat di gantikan dengan yang lain, berperan langsung dalam metabolisme dan di gunakan dalam menyelesaikan daur hidupnya. Termasuk disinilah hara makro seperti: C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg dan hara mikro seperti : B, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, dsb. Unsur pokok yang mendominasi tanah menjadi salin adalah natrium, kalsium dan magnesium (kation), sedangkan anionnya meliputi sulfat, khlorida dan bikarbonat. Garam-

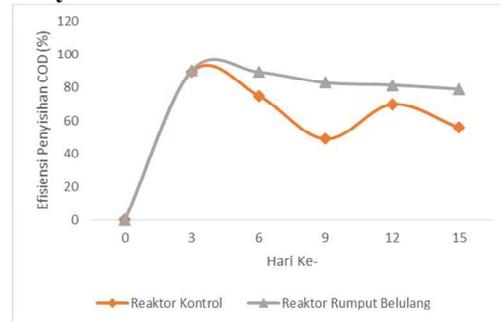
garam terlarut dalam tanah merupakan sumber esensial bagi pertumbuhan tanaman tetapi apabila jumlah dan keadaannya berlebihan maka garam-garam tersebut dapat meracuni tanaman (Strognov *Cit.* Bintoro, 1989 dalam Purnomo, 2014).

Menurut Farid (1998) dalam Purnomo (2014), adanya garam NaCl yang dominan dalam tanah dapat menjadi masalah terhadap pertumbuhan tanaman. Keadaan ini menyebabkan pertumbuhan terganggu dan bahkan pada keadaan ekstrim dapat menimbulkan kematian tanaman. Kadar garam yang tinggi dalam tanah dapat menimbulkan keterbatasan serapan air, keracunan ion, dan atau ketidak-seimbangan ion (Jones, 1981 dalam Purnomo, 2014).

Waskom (2003) menjelaskan bahwa salinitas tanah dapat menghambat perkecambahan benih, pertumbuhan yang tidak teratur pada tanaman pertanian seperti kacang-kacangan dan bawang. Proses fotosintesis akan terganggu karena terjadi akumulasi garam pada jaringan mesophil dan meningkatnya konsentrasi CO₂ antar sel (*interseuler*) yang dapat mengurangi pembukaan stomata (Robinson, 1999 dalam Da Silva *et al*, 2008).

Hambatan pertumbuhan tanaman merupakan salah satu indeks pertanian yang paling penting dari toleransi cekaman garam (Parida dan Das, 2005). Pengaruh langsung dari penambahan garam ke media akar adalah menurunnya potensial air eksternal dan penurunan serapan air (Munns, 2002). Pada penelitian Mane *et al* (2011), *V. Zizanioides* menunjukkan peningkatan tinggi tanaman tertinggi sebesar 17,98% pada konsentrasi NaCl 50 mM, namun ada kecenderungan penurunan tinggi tanaman pada konsentrasi NaCl yang lebih tinggi dan perlakuan NaCl yang lebih lama.

Penyisihan COD



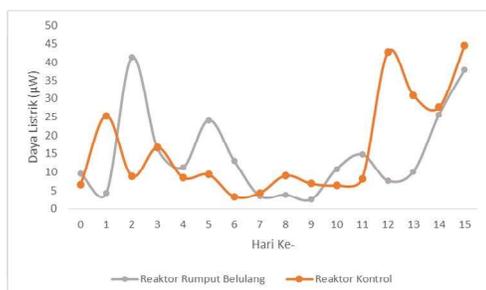
Gambar 2. Efisiensi Penyisihan COD

Berdasarkan gambar 2, pada hari ketiga persentase penyisihan COD antara reaktor kontrol dan reaktor tanaman rumput belulang hampir sama besarnya, hal tersebut dikarenakan masih belum optimumnya peran tanaman dalam penyisihan COD, meskipun masih lebih tinggi persentase penyisihan COD pada reaktor tanaman rumput belulang. Pada hari keenam, peran tanaman sudah mulai terlihat dibuktikan dengan lebih besarnya persentase penyisihan COD di reaktor tanaman rumput belulang. Diperkirakan ketika COD diukur pada hari ke delapan belas akan menunjukkan pola penurunan yang sama.

Efisiensi penyisihan kandungan air limbah bergantung pada konsentrasi dan lamanya waktu penahanan di dalam lahan basah. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah (Wood dalam Supradata, 2005). Pada penelitian lain disebutkan tingkat efisiensi penyisihan COD menurun bila tingkat pembebanan hidrolis dan organik meningkat (Aslan dan Nusret, 2008 dalam Purwono *dkk*, 2015). Hal ini diduga karena semakin terbatasnya jumlah mikroorganisme pengurai aktif, dengan demikian kemampuan mendegradasi substrat pun semakin terbatas (Purwono *dkk*, 2015).

Produksi Listrik

Proses running reaktor MFC selain dapat mengurangi kandungan COD di dalam air limbah dapat menghasilkan produk sampingan berupa energi listrik dari proses metabolisme bakteri dalam mendegradasi COD di dalam air limbah. Hasil produksi listrik dapat dilihat berdasarkan nilai Voltase (v) dan Kuat Arus (μA) yang akan dikalkulasikan menjadi Daya (μW).



Gambar 3. Daya Listrik yang Dihasilkan

Nilai daya listrik yang terukur mengalami fluktuasi pada setiap pengukurannya. Hasil pengukuran menunjukkan pada saat listrik di reaktor kontrol tinggi, listrik pada reaktor rumput belulang rendah, begitu pula sebaliknya. Namun pada pengukuran hari kelimabelas dapat dilihat bahwa baik reaktor kontrol maupun reaktor rumput belulang memiliki daya listrik yang hampir sama besar dan sama-sama mengalami kenaikan. Nilai voltase di dalam reaktor MFC ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pH dan suhu.

Penurunan generasi listrik disebabkan oleh beberapa faktor, menurut Hong Liu et al, (2005) faktor yang mempengaruhi generasi listrik diantaranya adalah proses degradasi substrat, proses aliran elektron dari bakteri ke anoda, hambatan dari jaringan, massa proton yang ditransfer dari air limbah, dan perfoma dari katoda.

Proses yang terjadi pada *plant-MFC* seperti dijelaskan oleh Fang et al (2016), akar tanaman mengeluarkan O_2 dan $(\text{CH}_2\text{O})_n$ yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Kemudian elektron yang dihasilkan pada anoda dari degradasi

anaerobik oleh $(\text{CH}_2\text{O})_n$ dan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. NH_4^+ yang ada di dalam tanah diubah ke NO_3^- oleh bakteri nitrifikasi di bagian akar. O_2 dan NO_3^- ini merupakan akseptor elektron pada katoda, sehingga elektron yang dihasilkan dari anoda dapat ditangkap oleh katoda.

COD sebagai salah satu parameter dasar pengolahan lindi sangat mempengaruhi kinerja MFC. Satu mol COD dapat memberikan informasi berapa mol O_2 yang diperlukan dalam reaksi untuk menghasilkan hidrogen. Di dalam perhitungan *coulombic efficiency* (ϵC), COD digunakan sebagai nilai yang mewakili fraksi konsentrasi substrat yang dapat dikonversi menjadi elektron (Logan et al, 2006). Konsentrasi awal COD pada tahap *running* sebesar 1325 mg/l.

Tabel 2. Efisiensi Coulombic

Hari ke-	Efisiensi Coloumbic (%)	
	Reaktor Kontrol	Reaktor Rumput Belulang
3	0,011	0,012
6	0,012	0,014
9	0,027	0,005
12	0,041	0,015
15	0,046	0,031

Elektron yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah tidak sepenuhnya ditransfer menjadi arus listrik. Efisiensi coulombic dikatakan dalam kondisi ideal apabila angka efisiensi mencapai 100%, dimana semua elektron yang dihasilkan diubah menjadi arus listrik (Logan, 2007).

Rendahnya ϵC kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya biofilm pada permukaan elektroda anoda. Terbentuknya biofilm ini akan mengakibatkan peningkatan hambatan pada anoda (Kim dkk, 2003). Apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh biofilm, maka jumlah elektron yang dapat ditransfer ke elektroda akan semakin sedikit sehingga terjadilah penurunan arus listrik. Selain pengaruh biofilm, substrat bahan organik kompleks berpengaruh juga terhadap arus listrik (Lovley, 2008).

Pada penelitian ini, dilakukan uji statistika untuk mngetahui hubungan antara

penyisihan COD dengan produksi listrik. Berdasarkan uji statistik tersebut, dapat dilihat bahwa pada penelitian ini penyisihan COD tidak berpengaruh terhadap produksi listrik. Pada reaktor dengan tanaman memiliki persentase yang lebih rendah dibandingkan dengan reaktor kontrol. Hal itu terjadi karena kuat arus listrik pada reaktor kontrol lebih besar dibandingkan dengan kuat arus listrik pada reaktor dengan tanaman.

Tingginya arus listrik menunjukkan bahwa elektron yang dialirkan menuju katoda lebih besar dari yang lainnya (Purwono dkk, 2015). Semakin banyak konsentrasi bahan organik, maka potensi untuk menghasilkan arus listrik akan semakin besar (Haslett, 2012). Arus listrik pada reaktor dengan tanaman pada hari pengukuran COD yaitu setiap 3 hari sekali memiliki nilai yang kecil daripada reaktor kontrol yang tanpa tanaman kemungkinan terjadi karena terdapat akseptor elektron yang menghambat elektron menuju ke anoda. Akan tetapi, secara keseluruhan pada pengukuran yang dilakukan setiap hari, nilai arus listrik yang dihasilkan oleh reaktor dengan tanaman lebih besar dibandingkan dengan reaktor kontrol.

Pertumbuhan Rumpuk Belulang

Pada penelitian ini, kondisi fisik tanaman rumput belulang diukur pertumbuhannya setiap hari. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui bagaimana pertumbuhan tanaman pada saat diberi limbah.



Gambar 4. Grafik Pertumbuhan Rumpuk

Tanaman rumput belulang mengalami pertambahan luas daun dan tinggi batang pada setiap pengukuran. Pertumbuhan yang signifikan ditunjukkan

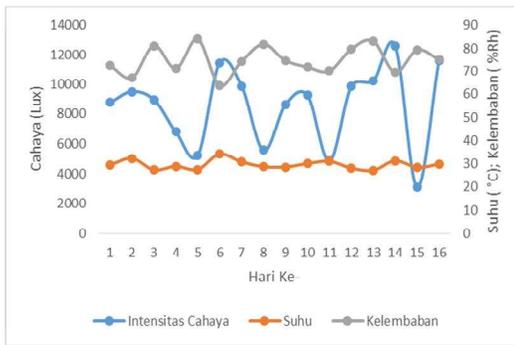
pada pertumbuhan daun. Seperti pada gambar diatas, pertumbuhan daun setiap harinya mengalami pertambahan yang cukup besar. Sedangkan pertumbuhan batang cenderung stabil, tidak terlihat pertumbuhan yang signifikan.

Pada pertumbuhan rumput belulang, dilakukan uji statistika untuk mengetahui hubungan antara penyisihan COD dengan pertumbuhan tanaman. Berdasarkan hasil uji, diketahui bahwa penyisihan COD ini mempengaruhi pertumbuhan tanaman rumput belulang sebesar 80,6% sesuai dengan hasil uji regresi menggunakan software SPSS.

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 akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme (Supradata, 2005).

Kondisi Fisik Lingkungan

Pengukuran kondisi lingkungan pada *greenhouse* yang dilakukan berupa pengukuran suhu, kelembaban dan intensitas cahaya. Hal tersebut dilakukan untuk melihat kecenderungan iklim yang sedang berlangsung pada saat penelitian sehingga dapat melihat pengaruh yang terjadi pada tanaman rumput belulang maupun volume lindi di dalam reaktor. Kisaran suhu untuk pertumbuhan tanaman pada umumnya berkisar antara 15° - 40°C. Selain suhu, kelembaban udara lingkungan penelitian juga mempengaruhi pertumbuhan rumput. Pada umumnya dinyatakan dalam kelembaban relatif yang mempengaruhi evapotranspirasi tanaman.

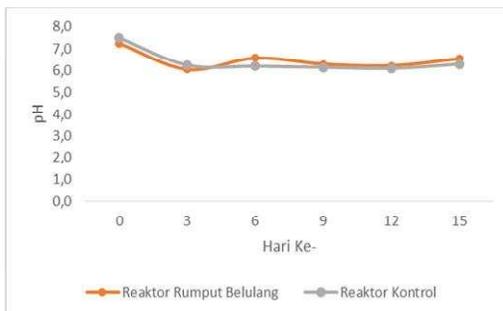


Gambar 5. Grafik Kondisi Lingkungan

Suhu dan kelembaban lingkungan tempat penelitian dilakukan cenderung stabil dengan rata-rata suhu sebesar 29,66 °C dan kelembaban sebesar 74,95 % Rh. Intensitas cahaya yang terukur selama penelitian mengalami fluktuasi yang cukup besar seperti terlihat pada gambar. Hal tersebut dikarenakan terjadinya perubahan cuaca yang tidak menentu setiap harinya sehingga cahaya yang terukur pada lokasi penelitian mengalami naik turun.

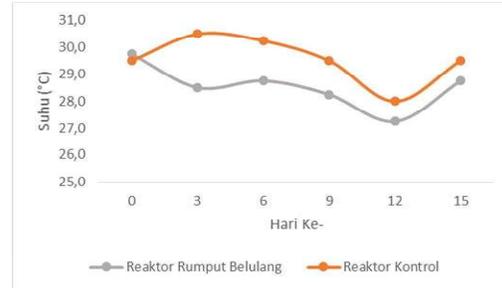
Kondisi Reaktor

Pertumbuhan rumput belulang dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan. Faktor-faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah pH, suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya. pH asam akan membuat unsur yang terikat pada jaringan tumbuhan semakin meningkat dan dapat mengganggu metabolisme tumbuhan. Sedangkan pada pH basa, unsur yang diserap oleh jaringan tumbuhan semakin sedikit dan menyebabkan metabolisme tumbuhan menjadi terganggu (Syahputra, 2005 disitasi oleh Viobets, 2012).



Gambar 6. pH pada Reaktor

Pada gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai pH yang terukur pada masing-masing reaktor memiliki kisaran pH 6-8,5 dan cenderung stabil. Penyebab terjadinya perubahan pH yaitu adanya bahan-bahan organik yang terkandung di dalam lindi yang tidak menentu, sehingga pH yang terukur berubah-ubah.



Gambar 7. Suhu pada Reaktor

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa pada tiap reaktor memiliki suhu antara 27-30°C. Suhu lindi pada tiap reaktor yang tinggi disebabkan oleh letak reaktor yang berada di luar laboratorium sehingga intensitas cahaya yang tinggi pada saat penelitian berjalan menyebabkan kenaikan suhu pada *greenhouse*. Suhu antara reaktor kontrol terukur lebih tinggi dibandingkan pada reaktor dengan tanaman. Akan tetapi, pada hari ke 12 suhu pada lindi sangat rendah. Hal tersebut dikarenakan pada saat pengujian, kondisi *greenhouse* sedang tidak terpapar matahari sehingga suhu pada lindi di dalam reaktor maupun diluar reaktor menjadi sangat rendah.

Tabel 3. Salinitas Outlet Lindi

Hari Ke-	Salinitas (ppt)	
	Reaktor Kontrol	Reaktor Rumput Belulang
0	4,5	4,50
3	0,7	0,90
6	1,8	0,75
9	2,3	1,25
12	2,1	1,70
15	2,3	2,15

Selain pH dan suhu, parameter salinitas juga diukur pada outlet lindi baik untuk reaktor kontrol maupun reaktor rumput belulang. Berdasarkan tabel 4.9, diketahui bahwa konsentrasi salinitas pada saat penelitian berlangsung mengalami penurunan dibandingkan dengan konsentrasi pada hari ke-0. Pada hari ketiga, salinitas pada reaktor kontrol menjadi sebesar 0,7 ppt, sedangkan pada reaktor rumput belulang menjadi 0,9 ppt. Hari keenam, salinitas pada reaktor kontrol meningkat menjadi 1,8 ppt, sedangkan pada reaktor rumput belulang turun menjadi 0,75. Hingga pada hari terakhir pengukuran, nilai salinitas baik untuk reaktor kontrol maupun reaktor rumput belulang lebih rendah dibandingkan dengan nilai salinitas pada inlet. Hal itu menunjukkan bahwa kandungan salinitas pada lindi diserap oleh akar tanaman dan digunakan untuk tumbuh, akan tetapi pertumbuhan rumput belulang sedikit lebih lambat dibandingkan dengan rumput belulang yang tumbuh liar.

Menurut penelitian Ristanto (2011), unsur utama dalam salinitas adalah klorida (Cl^-) yang merupakan bahan anaorganik. Efisiensi removal COD akan mengalami penurunan seiring dengan naiknya konsentrasi salinitas. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Dincer dan Kargi (1996) dalam Ristanto (2011) yang menyatakan bahwa kenaikan kadar garam akan menyebabkan terjadinya plasmolisis yang menyebabkan mikroorganisme lebih banyak kehilangan air sehingga mikroorganisme akan mati.

Toleransi terhadap salinitas adalah beragam dengan spektrum yang luas diantara spesies tanaman mulai dari yang peka hingga yang cukup toleran. Menurut Follet et al. (1981) dalam Sipayung (2003), garam-garam atau Na^+ yang dapat dipertukarkan akan mempengaruhi sifat-sifat tanah jika terdapat dalam keadaan yang berlebihan dalam tanah. Kekurangan unsur Na^+ dan Cl^- dapat menekan pertumbuhan dan mengurangi produksi. Peningkatan konsentrasi garam terlarut di dalam tanah akan meningkatkan tekanan osmotik sehingga menghambat penyerapan

air dan unsur-unsur hara yang berlangsung melalui proses osmosis. Jumlah air yang masuk ke dalam akar akan berkurang sehingga mengakibatkan menipisnya jumlah persediaan air dalam tanaman.

Menurut Sipayung (2003), dalam proses fisiologi tanaman, Na^+ dan Cl^- diduga mempengaruhi pengikatan air oleh tanaman sehingga menyebabkan tanaman tahan terhadap kekeringan. Sedangkan Cl^- diperlukan pada reaksi fotosintetik yang berkaitan dengan produksi oksigen. Sementara penyerapan Na^+ oleh partikel-partikel tanah akan mengakibatkan pembengkakan dan penutupan pori-pori tanah yang memperburuk pertukaran gas, serta dispersi material koloid tanah.

Menurut Sigalingging (1985) dalam Sipayung (2003), salinitas akan mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah, yaitu tekanan osmotik yang meningkat, peningkatan potensi ionisasi, infiltrasi tanah yang menjadi buruk, kerusakan dan terganggunya struktur tanah, permeabilitas tanah yang buruk, penurunan konduktivitas. Sedangkan menurut Sipayung (2003), Salinitas menekan proses pertumbuhan tanaman dengan efek yang menghambat pembesaran dan pembelahan sel, produksi protein serta penambahan biomass tanaman. Tanaman yang mengalami stres garam umumnya tidak menunjukkan respon dalam bentuk kerusakan langsung tetapi pertumbuhan yang tertekan dan perubahan secara perlahan.

Selain pengaruh tersebut diatas, kandungan Na^+ yang tinggi dalam air tanah akan menyebabkan kerusakan struktur tanah. pH tanah menjadi lebih tinggi karena kompleks serapan dipenuhi oleh ion Na^+ . Hal ini akan meningkatkan persentase pertukaran Natrium (*Exchangeable Sodium Percentage*, ESP). Secara drastis pertumbuhan tanaman akan menurun bila ESP mencapai 10% (Singh, Chabra dan Abrol dalam Basri, 1991). Pertumbuhan sel tanaman pada tanah salin memperlihatkan struktur yang tidak normal. Penyimpangan yang terjadi meliputi kehilangan integritas membran, kerusakan lamella, kekacauan organel sel, dan akumulasi Kalsium Oksalat dalam sitoplasma, vakuola, dinding sel dan

ruang antar sel. Kerusakan struktur ini akan mengganggu transportasi air dan mineral hara dalam jaringan tanaman (Maas dan Nieman, 1978 dalam Sipayung, 2003).

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi penurunan COD dalam penelitian ini memiliki nilai yang bervariasi, dengan persentase efisiensi terbesar terdapat pada reaktor dengan tanaman, yaitu sebesar 90,34%. Efisiensi penurunan COD cenderung mengalami penurunan tiap pengukuran disebabkan mulai berkurangnya kinerja dari reaktor, dan juga kemungkinan terdapatnya bakteri pendegradasi limbah dari akar tanaman yang mulai mati dan terukur sebagai COD.
2. Tegangan listrik dan juga kuat arus listrik diukur setiap hari untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan pada saat penelitian berlangsung. Daya listrik terbesar dihasilkan reaktor kontrol, yaitu sebesar 44,55 μ W. Daya listrik pada reaktor dengan tanaman terukur kecil dipengaruhi oleh suhu yang terdapat dalam reaktor lebih rendah dibandingkan dengan suhu pada reaktor kontrol dan menyebabkan aktivitas bakteri kurang maksimal. Daya listrik yang dihasilkan tergolong sangat kecil karena terukur dalam satuan mikroWatt. Hal tersebut dikarenakan penelitian yang dilakukan merupakan penelitian skala kecil sehingga listrik yang dihasilkan pun sangat kecil.

SARAN

1. Sebaiknya dilakukan uji bakteri untuk mengetahui bakteri yang terdapat dalam proses penelitian.
2. Perlu adanya penelitian dengan menggunakan tanaman lain.
3. Perlu adanya penelitian dengan menggunakan sistem vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

- Basri, H., 1991. *Pengaruh Stres Garam Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Empat Varietas Kedelai*. Thesis Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Corbella, Clara, and Jaume Puigagut Juárez. "Microbial fuel cells implemented in constructed wetlands: fundamentals, current research and future perspectives." *Contributions to science* 11 (2015): 127-134.
- Da Silva, E.C., R.J.M.C. Nogueira, F.P. de Araujo, N.F. de Melo and A.D. de Ajevedo Neto. 2008. *Physiological Respon to Salt Stress in Young Umbu Plants*. Journal Environmental and Experimental Botany. Elsevier.
- Fang, Z., Song, H., Yu, R., & Li, X. (2016). A microbial fuel cell-coupled constructed wetland promotes degradation of azo dye decolorization products. *Ecological Engineering*, 94, 455-463.
- Fresenius, W., W. Schneider, B. Böhnke, and K. Pöppinghaus (eds.). 1989. *Waste Water*.
- Haslett, N. (2012). *Development of a eukaryotic microbial fuel cell using *Arxula adenivorans** (Doctoral dissertation, Lincoln University).
- Kim GT, Webster G, Wimpenny JWT, Kim BH, Kim HJ, Weightman AJ. 2006. *Bacterial community structure, compartmentalization and activity in a microbial fuel cell*. *J. Appl. Microbiol.* 101: 698-710.
- Liu H dan Logan BE. 2004. *Electricity Generation Using an Air Cathode Single-Chamber Microbial Fuel Cell in the presence and absence of proton exchange membrane*. *J. Environment Science Technology* 38:4040.
- Logan, B.E. 2007. *Microbial Fuel Cells*. Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-23948.
- Lovley, D.R. 2008. *The Microbe Electric: Conversion of Organic Matter Toelectricity*. Current Opinion in

- Biotechnology. Vol. 19: pp 1–8.
USA.
- Purnomo, Dedy. 2014. *Pengaruh Salinitas Penyerapan Air dan Kation Anion terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (Vigna radiata)*. Program Studi Pendidikan Biologi FKIP. Universitas Riau.
- 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.
- Ristanto. 2011. *Uji Pengaruh Ammonium (NH_4^+-N) dan Salinitas Terhadap Pengolahan Lindi Secara Anaerobik (Studi Kasus : TPA Benowo) (Skripsi)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Samudro, G., & Mangkoedihardjo, S. 2010. *Review on BOD, COD and BOD/COD ratio: a triangle zone for toxic, biodegradable and stable levels*. International Journal of Academic Research, 2(4), 235-239.
- Sipayung, R. 2003. Stres garam dan mekanisme toleransi tanaman. Medan. *USU digital library*.
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius dalam Ssstem Lahan Basah Aliran Permukaan (SSF Wetland)*. Tesis Magister Lingkungan.
- Trihadiningrum, Y. 1995. *Mikrobiologi Lingkungan*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan-ITS.
- Viobeth, Bunga Rulita. 2012. *Fitoremediasi Limbah Mengandung Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) Menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia molesta) (Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro)*.
- Zaman, B et al. 2013. *Efisiensi Pengolahan Amonium Berkonsentrasi Tinggi Dalam Lindi Pada Sistem Evapotranspirasi-Anaerobik Secara Kontinyu*.