

PEMANFAATAN SAMPAH SAYUR PASAR DALAM PRODUKSI LISTRIK MELALUI *MICROBIAL FUEL CELLS* (*UTILIZATION OF MARKET VEGETABLE WASTE IN ELECTRICITY PRODUCTION THROUGH MICROBIAL FUEL CELLS*)

Muhamad Imaduddin^[1], Hermawan^[2], Hadiyanto^[2]

[1] Mahasiswa S2 Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, [2] Dosen Universitas Diponegoro
Email: muhamad.imaduddin89@gmail.com

ABSTRACT

The presence of organic market vegetable waste is so abundant. One of utilization of vegetable market waste is processed into compost. However, compost has difficulties in marketing so it is only used on a small scale and it gives impact to the environment such as acidification and eutrophication. On the other hand, the threat of energy and fuel-crisis makes activities related to renewable energy into something urgent to be done. One of the renewable energy alternatives is Microbial Fuel Cells (MFCs). MFCs are bioelectrochemical system spontaneously converting biomass into electricity through metabolic activity of microorganisms. The purpose of study is to apply MFCs as an application of voltaic cells in producing electricity using slurry phase of vegetable waste as substrate. Variations performed on the slurry phase comparison: water are 1: 2; 1: 1 and 2: 1, and the addition of EM4. Operations were conducted for 21 days. Production of the greatest voltage is at R1+ reactor (1:2 with addition of EM4) and reached 1180 mV. An electric current is 5.1 μ A, and the electric power is 6.02 Mwatt, and the power density is 462.92 mWatt/m². The presence of water in MFCs role in the mechanism of vegetable waste degradation. The tendency of increase in the electrical energy at the beginning of the operation of the reactor showed an increase in cellular synthesis of microorganisms. Declining electric energy is influenced of pH as microorganisms living place and the formation process of attached media at the electrode.

Keywords: *Vegetable Market Waste, Electricity, Microbial Fuel Cells.*

PENDAHULUAN

Sayur merupakan salah satu tanaman produktif pertanian. Biomassa organik sayur begitu melimpah. Produksi sayur (primer) di dunia ditaksir oleh FAO (2012) sebanyak 1.106.133.866 ton per tahun. FAO (2012) dan Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Hortikultura (2012) memperkirakan

produksi sayur di Indonesia mencapai 10.507.836 ton per tahun. Melihat kondisi melimpahnya produksi sayur di Indonesia, hal tersebut juga diiringi dengan potensi produk untuk menjadi sampah. Hal ini dikarenakan sayur merupakan bahan makanan yang mudah rusak. Salah satu penyebabnya adalah kandungan air yang tinggi yaitu berkisar

85-95%, sehingga sangat baik untuk pertumbuhan mikroorganisme dan percepatan reaksi metabolisme (Asgar & Musaddad, 2006).

Sampah sisa sayur sangat mudah ditemukan di pasar-pasar tradisional. Hasil kajian Aryanti (2009) menyatakan bahwa volume rata-rata sampah di Pasar Peterongan, Semarang didominasi oleh sampah organik sebesar 69,34% dari rata-rata total timbunan sampah 2,3 liter/pdg/hari dan volume total sampah 2,8 ton per hari. Timbunan sampah sayur di Pasar Peterongan dapat mencapai hingga 98,53% total sampah organik yang ada. Selanjutnya, Gurning *et al* (2009) juga menemukan bahwa komposisi berat rata-rata sampah organik yang dihasilkan di Pasar Sore Padang Bulan, Medan per harinya adalah 488,777 kg (55,7%) untuk sampah organik sayur; 181,700 kg (20,7%) sampah organik buah; dan sekitar 207,470 kg (23,6%) sampah anorganik. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa timbunan sampah sayur pasar mendominasi komposisi sampah pasar tradisional. Aryanti (2009) lebih lanjut menyatakan bahwa keberadaan sampah organik di Pasar Peterongan telah diolah menjadi kompos. Meskipun demikian, kenyataan di lapangan hasil olahan kompos mengalami kesulitan dalam pemasarannya sehingga Pemanfaatan Sampah Sayur.....

hanya digunakan dalam skala kecil. Kondisi yang demikian juga dipaparkan oleh Sumiati (2011) yang mengkaji kasus pengelolaan sampah di Pasar Bulu, Semarang. Selain kendala tersebut, proses pengomposan sampah juga dapat menimbulkan dampak ke lingkungan seperti asidifikasi (pengasaman) dan eutrofikasi. Peningkatan pengasaman (asidifikasi) juga dihasilkan pada lokasi pembuangan akhir. Pengomposan juga merupakan penyumbang terbesar dari proses asidifikasi, seperti timbulnya ammonia (Finnveden *et al.*, 2000). Menurut Dalemo *et al.* (1998) penyebab terjadinya asidifikasi di lingkungan adalah dari ammonia yang terlepas ke udara. Ammonia yang terlepas ke udara ini dikarenakan adanya proses penguraian oleh mikroorganisme pada proses pengomposan. Berdasarkan hal tersebut, perlu dikaji lebih lanjut potensi dan peluang pengolahan sampah pasar terutama sampah sayur menjadi produk lain. Salah satu potensi penting yang dapat dikaji adalah potensi sampah sayur dalam produksi energi.

Sejalan dengan hal tersebut, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2010) menyatakan bahwa 50% konsumsi energi nasional Indonesia selama ini berasal dari minyak bumi. Hal ini menunjukkan bahwa bangsa Indonesia

masih sangat tergantung pada sumber energi tak terbarukan tersebut. Masalah tersebut harus segera dicari solusinya karena cepat atau lambat sumber energi tersebut akan habis. Keadaan ini menyebabkan negara-negara di dunia termasuk Indonesia rentan terhadap resiko krisis energi. Melihat kondisi yang demikian, peluang untuk mengembangkan energi terbarukan masih memiliki posisi yang strategis di Indonesia.

Salah satu energi alternatif terbarukan ini adalah *Microbial Fuel Cells* (disingkat *MFCs*). *MFCs* merupakan jenis utama dari *bioelectrochemical system (BECs)* yang mengonversi biomassa secara spontan menjadi listrik melalui aktivitas metabolisme mikroorganisme (Pant *et al*, 2010). *MFCs* dianggap sebagai teknologi berkelanjutan untuk menghadapi peningkatan kebutuhan energi. *MFCs* telah banyak digunakan untuk mengolah air limbah seperti limbah domestik (Liu *et al*, 2004; Ahn & Logan, 2010), limbah bir (Feng *et al*, 2008; Abhilasha & Sharma, 2009), limbah wiski (Mohanakrishna *et al*, 2010), limbah industri gula (Abhilasha & Sharina, 2009), limbah industri kertas (Huang & Logan, 2008), limbah penggilingan padi (Behera *et al*, 2010), limbah peternakan

babi (Kim *et al*, 2008), dan limbah fenolik (Loua *et al*, 2009). Adapun kajian penggunaan untuk sampah sayur pasar dan produksi listriknya masih belum banyak diteliti. Berdasarkan kajian penelitian dan latar belakang yang ada, penelitian ini akan menggunakan sampah sayur pasar dalam bentuk *slurry* (campuran bahan dan air). Komposisi campuran bahan pada *slurry* tersebut diperkirakan dapat mempengaruhi produksi listrik pada reaktor *MFCs* yang digunakan. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh metabolisme mikroorganisme di dalam substrat. Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan teknologi *MFCs* sebagai aplikasi konsep sel volta dalam memproduksi listrik dengan substrat fase *slurry* sampah sayur pasar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan skala laboratorium, yaitu dengan membuat miniatur sistem yang dioperasikan untuk mendapatkan data dengan menggunakan reaktor *MFCs*. Sampel sampah yang digunakan adalah sampah sayur pasar yang diperoleh dari Pasar Peterongan, Kota Semarang yang diambil dengan teknik *grab sampling*. Sampah sayur ini kemudian dikarakterisasi jenis sayuran yang ada. Selanjutnya, dibuat sampel

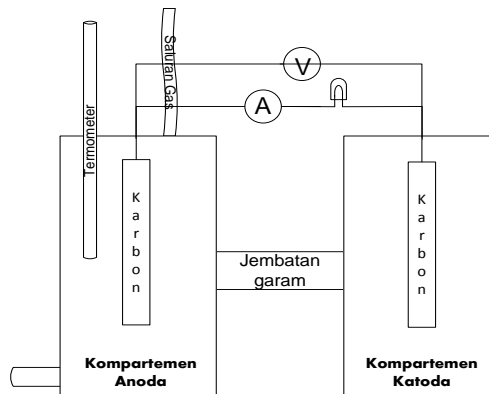
sampah artifisialnya dalam bentuk fase *slurry*. Variabel bebas terdiri dari fraksi fasa *slurry* sampah sayur, serta ada tidaknya penambahan mikroba EM4 pada reaktor. Variabel terikat yang terkait dengan parameter produksi listrik adalah tegangan listrik (voltase), dan arus listrik. Selain itu, diukur pula pH dan temperatur

terkait dengan kondisi lingkungan tempat hidup mikroba. Dalam penelitian ini digunakan 6 jenis reaktor utama dan 1 reaktor kontrol. Pada Tabel 1 diperlihatkan komposisi reaktor yang digunakan.

Tabel 1. Komposisi Substrat pada Reaktor MFC

Reaktor	Komposisi substrat air:sampah sayur	Penambahan EM4 (50 ml)
R1	2:1	-
R1+	2:1	√
R2	1:1	-
R2+	1:1	√
R3	1:2	-
R3+	1:2	√
Kontrol	100% air	-

Skema reaktor MFCs dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Reaktor MFCs dengan Substrat Sampah Sayur Pasar Fase *Slurry*

Kompartemen yang digunakan pada penelitian ini berukuran 20 cm x 15 cm x 10 cm. elektroda yang digunakan berupa grafit dengan ukuran 5 cm x 2 cm x 1 cm. Hambatan yang digunakan berupa lampu LED. Adapun elektrolit yang digunakan

pada jembatan garam adalah KCl 1M dan agar-agar 10%. Pengoperasian reaktor dilakukan selama 21 hari pada suhu kamar dengan rata-rata suhu 28-29°C tiap harinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampling sampah sayur dilakukan pada tanggal 15 April 2014 dari Pasar Peterongan Kota Semarang. Hasil sampel sampah sayur menunjukkan densitas sampah sayur sebesar 0,4/kg dan kadar

air pada kisaran 33,4 – 66,5%. Adapun komposisi sampah yang diperoleh dari 8 kg sampah sayur dapat dilihat pada Tabel 2.

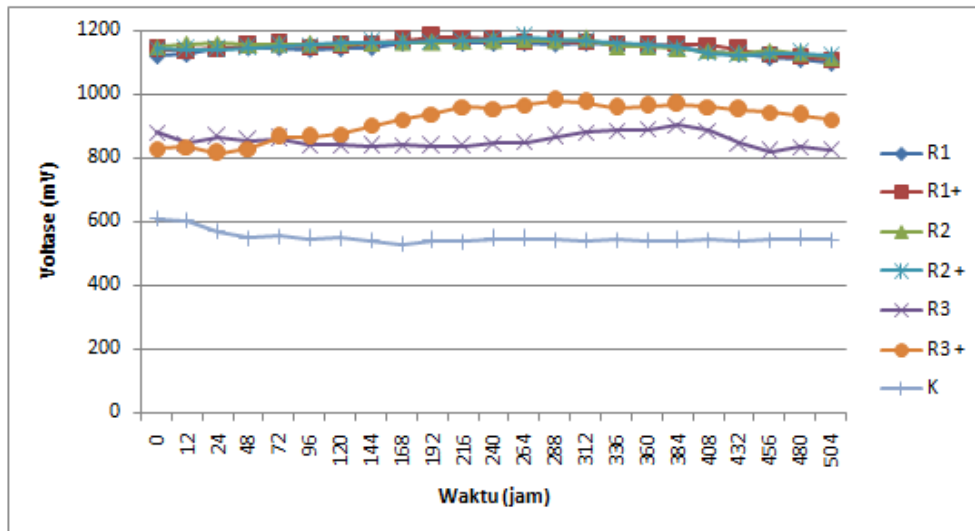
Tabel 2. Komposisi sampah sayur pasar hasil sampling

No	Jenis Sayur	Massa (kg)	Persentase (%)
1	Kubis	4	50,0
2	Labu siam	2	25,0
3	Sawi	0,8	10,0
4	Sawi putih	0,7	8,8
5	Wortel	0,3	3,8
6	Cabe	0,1	1,3
7	Tomat	0,1	1,3

Berdasarkan data pada Tabel 2., dibuat fase *slurry* sampah sayur dengan komposisi persentase jenis sayur. Fase *slurry* ini digunakan sebagai substrat pada kompartemen anode. Mikroorganisme yang berperan pada reaktor *MFCs* dapat berasal dari sampah sayur pasar maupun dari air yang digunakan sebagai campuran bahan untuk membentuk *slurry* sampah sayur. Mikroorganisme melekat pada anoda pada kondisi anaerobik. Selanjutnya, akan terjadi proses degradasi sampah sayur sehingga diperoleh karbondioksida, proton, serta elektron (Yokoyama *et al.*,

2006). Proses degradasi sampah sayur tersebut termasuk reaksi oksidasi. Christy *et al.*, 2008 menyatakan bahwa proses terbentuknya listrik yaitu dari proses pengubahan senyawa selulosa melalui proses hidrolisis, fermentasi, dan elektrogenesis. Hasil dekomposisi bahan organik kompleks yang ada di dalam sampah sayur dapat digunakan sebagai sumber energi untuk tahap berikutnya.

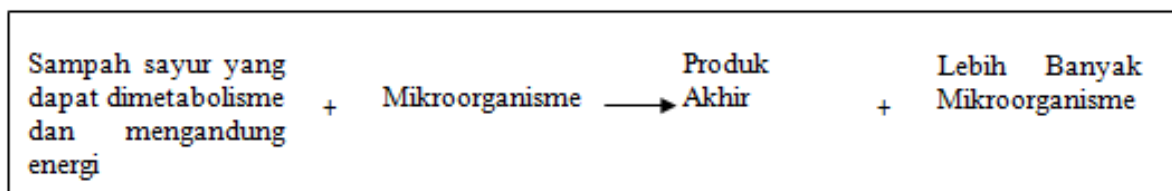
Hasil penelitian menunjukkan adanya voltase dan arus listrik yang mengalir pada masing-masing reaktor. Perubahan voltase pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik yang menunjukkan perubahan voltase pada masing-masing Reaktor MFCs

Berdasarkan Gambar 2. dapat diketahui bahwa pada awalnya terjadi kenaikan beda potensial pada masing-masing reaktor. Selanjutnya, terjadi penurunan voltase pada masing-masing reaktor. Kenaikan voltase pada reaktor diakibatkan meningkatnya aktivitas mikroorganisme. Logan (2007) menyatakan bahwa transfer proton mempengaruhi secara signifikan pada performa MFCs. Ketika substrat yang berupa sampah sayur terdegradasi, proton diproduksi oleh anoda dan dikonsumsi

oleh katoda. Dalam sistem biologik, mikroorganisme menggunakan substrat sampah sayur untuk mensintesis bahan seluler baru dan menyediakan energi untuk sintesis. Dengan adanya substrat sampah sayur sebagai makanan eksogenes mikroorganisme, sintesis bahan seluler baru akan lebih banyak daripada respirasi endogenes (Jenie & Rahayu, 1993). Dengan demikian, mikroorganisme akan menjadi lebih berlimpah. Mekanismenya dapat digambarkan pada Gambar 3.



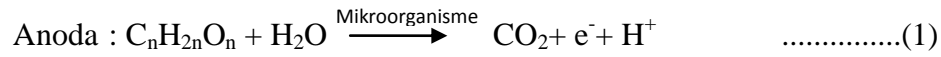
Gambar 3. Mekanisme pertumbuhan mikroorganisme pada reaktor.

Pada kompartemen anoda, mikroorganisme akan mengoksidasi Pemanfaatan Sampah Sayur.....

material organik pada kondisi anaerob. Proses inilah yang berperan dalam

produksi elektron atau listrik pada reaktor MFCs (Angenent, *et al*, 2004; Rabaey & Verstraete, 2005). Dengan adanya jumlah mikro organisme yang lebih banyak, tentunya proses oksidasi akan berjalan

semakin banyak. Gula sederhana sebagai molekul biodegradable terdegradasi dapat dituliskan melalui persamaan berikut:

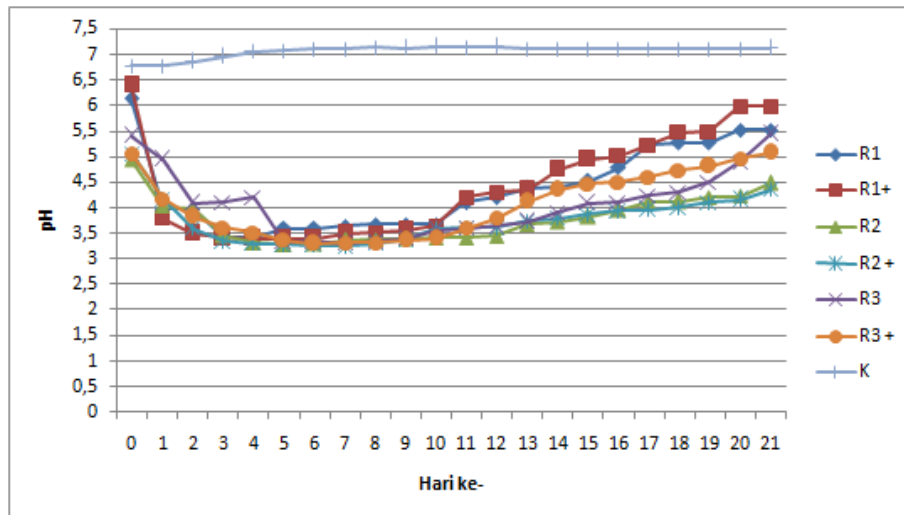


Elektron akan mengalir melalui sirkuit kompartemen anoda. Selanjutnya, proton akan melewati jembatan garam untuk menstabilkan muatan pada kedua kompartemen. Pada kondisi ini, terjadi perbedaan potensial antara kompartemen katoda dan anoda. Proton dan elektron yang berasal dari anoda digunakan untuk mereduksi Mn^{7+} menjadi Mn^{4+} (Guerrero-Rangel.N, 2010). Adanya elektron yang mengalir pada sistem tiap satuan waktu akan menghasilkan arus listrik.

lebih banyak dan akan terjadi pengurangan padatan mikroba (Jenie & Rahayu, 1993). Berkurangnya aktivitas mikroorganisme ini, menyebabkan proses oksidasi bahan organik menjadi semakin sedikit. Dengan demikian, jumlah elektron yang mengalir serta proton yang dihasilkan semakin sedikit.

Menurut Madigan (2011) pH sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme. Pada proses pengolahan anaerob, pertumbuhan mikroorganisme lebih baik dalam suasana netral (pH 7,0) atau sedikit basa (pH 7,2-7,4), tetapi pada umumnya dapat hidup pada pH 6,6–7,5. Batas pH untuk pertumbuhan mikroorganisme merupakan suatu gambaran dari batas pH bagi kegiatan enzimatik.

Bila pertumbuhan mikroorganisme terhenti, mikroorganisme mati dan lisis melepaskan nutrien dari protoplasmanya untuk digunakan oleh sel-sel yang masih hidup. Dengan demikian, ketika nutrien dari sampah sayur semakin sedikit, respirasi endogenes akan berlangsung



Gambar 4. Perubahan pH pada masing-masing reaktor MFCs

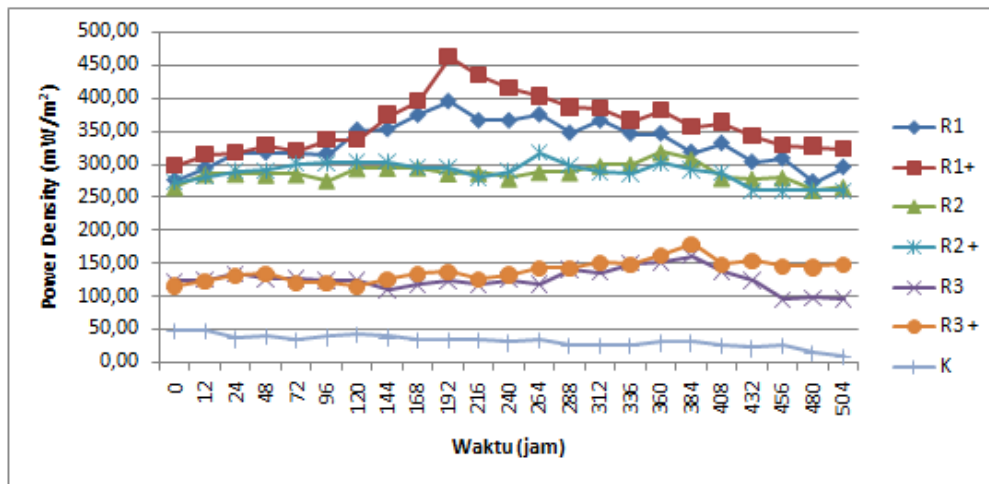
Gambar 4. menunjukkan kecenderungan penurunan pH pada 5 hari pertama pengoperasian reaktor. Selanjutnya, terjadi kenaikan pH pada beberapa reaktor. Jumlah substrat yang digunakan oleh bakteri juga dipengaruhi oleh kondisi pH (Jenie & Rahayu, 1993). Menurunnya kondisi pH pada reaktor menunjukkan adanya pembentukan asam pada reaktor. Asam yang dihasilkan tersebut berasal dari bioproses pada pembusukan sampah sayuran. Bouallagui *et al.* (2004) menyatakan bahwa materi organik partikulat dari sampah sayur seperti selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, akan mengalami pencairan dengan adanya enzim ekstraselular sebelum digunakan oleh bakteri asidogenik. Bakteri-bakteri pembentuk asam ini tumbuh dengan cepat dan menguraikan glukosa menjadi asam-asam asetat, propionat dan butirat.

Pemanfaatan Sampah Sayur.....

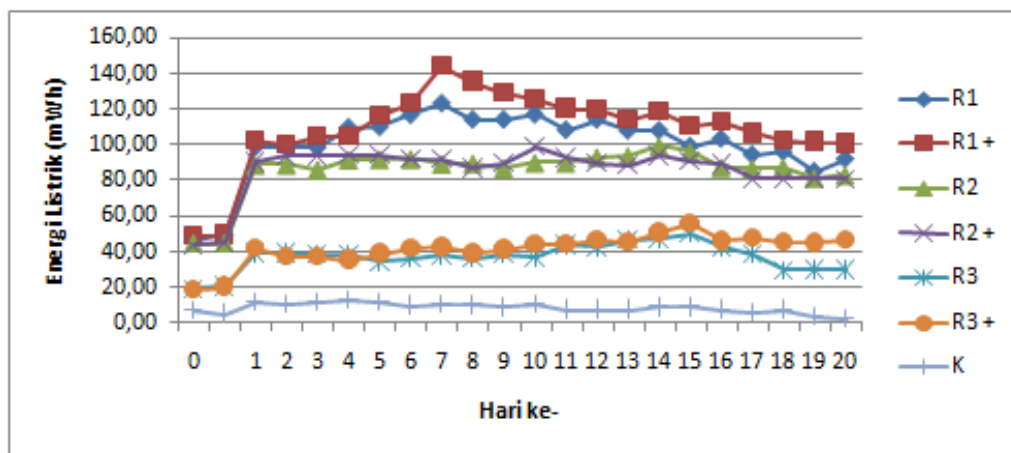
Konversi glukosa menjadi asam asetat menghasilkan energi yang besar bagi pertumbuhan bakteri pembentuk asam. Asam asetat yang dihasilkan merupakan substrat utama bagi bakteri pembentuk metan dari asam asetat (*acetoclastic methane bacteria*). Berdasarkan **Gambar 4.** pH limbah tampak bahwa kisaran pH pada 3,0-5,0 pada 5 hari pertama. Pada kisaran pH tersebut terdapat kemungkinan didominasi oleh mikroorganisme yang bersifat asidofilik yaitu mikroorganisme yang dapat tumbuh pada pH antara 2,0-5,0. Jenie & Rahayu (1993) menyatakan bahwa aktivitas biologi dapat mengubah pH substrat. Penurunan pH disebabkan oleh reaksi oksidasi sulfat, nitrifikasi, oksidasi karbon organik, sedangkan kenaikan pH di pengaruhi oleh reaksi fotosintesis, denitrifikasi, pemecahan nitrogen organik, dan reduksi sulfat.

Naik turunnya pH ini mempengaruhi kondisi voltase pada reaktor. Hal ini dikarenakan kondisi pH mempengaruhi aktivitas dari mikroorganismenya. Kondisi voltase yang berubah berdampak pada kerapatan daya

dan energi yang dihasilkan pada masing-masing reaktor. Gambar 5 dan 6 menunjukkan perubahan kerapatan daya (*power density*) yang terjadi pada masing-masing reaktor.



Gambar 5. Grafik yang menunjukkan perubahan *power density* tiap periode waktu.



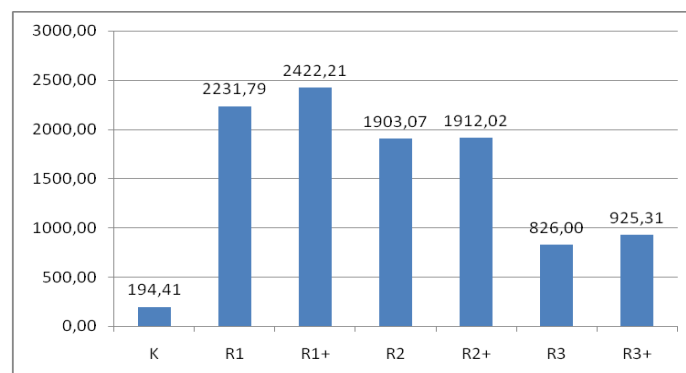
Gambar 6. Grafik yang menunjukkan perubahan Energi Listrik tiap periode waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dan 6. dapat diketahui bahwa reaktor dengan komposisi 1:2 dan penambahan EM4 mampu menghasilkan energi listrik yang paling tinggi dibandingkan dengan reaktor lainnya. Pada hari ke-delapan reaktor R1+ menghasilkan voltase

mencapai 1180 mV, arus listrik sebesar 5,1 μ A, dan daya listrik sebesar 6,02 mWatt, serta kerapatan daya sebesar 462,92 mWatt/m². Berdasarkan Gambar 4. dan 5. diketahui pula bahwa terjadi penurunan kerapatan daya pada reaktor, serta energi yang dihasilkan oleh reaktor.

Hal ini dimungkinkan karena terbentuknya biofilm pada elektroda MFCs sehingga terjadi peningkatan hambatan di permukaan elektroda (Kim *et al.*, 2007). Pada proses pengolahan awal, energi yang dihasilkan dari metabolisme bahan organik sebagian besar digunakan untuk membentuk biofilm. Sel-sel teradsorpsi di permukaan media kemudian tumbuh, berkembangbiak dan menghasilkan *Extracellular Polymeric Substances (EPS)* untuk membentuk biofilm. Elektroda karbon pada kompartemen anoda MFCs berperan menjadi media lekat bagi mikroorganisme untuk membentuk biofilm. Selain sel bakteri hidup dan sel bakteri yang mati dapat membentuk lapisan pada permukaan anoda semakin bertambah. Apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh biofilm, jumlah elektron yang ditransfer ke elektroda semakin sedikit sehingga

terjadi penurunan arus listrik. Dengan demikian, kerapatan daya dan energi listrik yang dihasilkan MFCs juga menurun. Adanya biofilm memungkinkan terhambatnya transfer massa, seperti transfer oksigen atau substrat melalui lapisan EPS dapat menghambat pertumbuhan mikrobiologi di dasar biofilm (Sunarto, *et al.*, 2013). Mikroba memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya dan bereproduksi agar terbentuk konsorsium mikroba yang stabil. Biofilm yang berkembang seiring berjalannya waktu dapat menutupi elektroda sehingga memperkecil luas permukaan elektroda yang dapat mengalirkan arus akibatnya meningkatkan penurunan arus listrik serta mempengaruhi produksi energi listrik (Kim *et al.*, 2007). Adapun total energi listrik yang dihasilkan pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Total energi listrik yang dihasilkan pada masing-masing reaktor (selama 21 hari)

Berdasarkan Gambar 7. diketahui bahwa reaktor R1+ (2:1 / air:sampah sayur) menghasilkan energi total yang paling besar selama 21 hari pengoperasian. Keberadaan air pada reaktor MFCs berperan dalam mekanisme degradasi sampah sayur. Tingginya voltase tersebut diperkirakan menunjukkan tingginya aktivitas metabolisme dari mikroba yang ada pada sampah pasar. Minimnya air pada reaktor R3 dan R3+ dapat menghambat proses degradasi serta meningkatkan hambatan internal pada reaktor.

KESIMPULAN

Pengoperasian reaktor MFCs dengan variasi komposisi sampah sayur pada fase *slurry* selama 21 hari menunjukkan voltase yang dihasilkan paling besar pada reaktor R1+ yaitu mencapai 1180 mV, arus listrik sebesar 5,1 μ A, dan daya listrik sebesar 6,02 mWatt, serta kerapatan daya sebesar 462,92 mWatt/m². Dengan demikian, dapat diketahui bahwa keberadaan air pada reaktor MFCs berperan dalam mekanisme degradasi sampah sayur. Terdapat kecenderungan naiknya energi listrik yang dihasilkan pada awal pengoperasian reaktor yang menunjukkan adanya peningkatan sintesis seluler

mikroorganisme. Selanjutnya, terdapat penurunan energi yang dipengaruhi pH lingkungan hidup mikroorganisme serta proses terbentuknya biofilm pada elektroda.

SARAN

Saran yang dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan elektroda anti bakteri yang memungkinkan biofilm tidak melekat tetapi bersifat konduktor.
2. Pengujian komposisi hasil proses fermentasi pada waktu tertentu perlu dilakukan untuk memastikan jumlah dan jenis produk fermentasi apa yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhilasha, S.M. & Sharma, V.N. (2009). Bioelectricity Production from Various Wastewater Through Microbial Fuel Cell Technology. *Journal of Biochemical Technology*, 2 (1): 133-137.
- Ahn, Y. & Logan, B.E. (2010). Effectiveness of Domestic Wastewater Treatment Using Microbial Fuel Cells at Ambient and Mesophilic Temperatures. *Bioresource Technology*, 101: 469 – 475.

- Asgar, A. & Musaddad, D. (2006). Optimalisasi Cara, Suhu, dan Lama Blansing sebelum Pengeringan Kubis. *J.Hortikultura*. 16(4): 349-355.
- Angenent, L.T., et al. (2004). *Production Of Bioenergy and Biochemichals From Industrial and Agricultural Wastewater*. TRENDS In Biotechnology. 22(9).
- Aryanti, H. (2009). Kajian Sistem Pengelolaan Sampah (Studi Kasus: Di Pasar Peterongan-Kota Semarang). Tesis. Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Hortikultura. (2013). *Produksi Sayuran di Indonesia, 2008–2012*.
<http://www.deptan.go.id/infoeksekutif/horti/horti-asem2012/Prod-Sayuran.pdf>.
- BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2010). Energi terbarukan, solusi krisis energi masa depan. Tersedia:
<http://www.bppt.go.id/index.php/home/58-teknologi-material/433-energi-terbarukan-solusi-krisis-energi-masa-depan>. Akses tanggal 15 Desember 2013.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Hamdi, M. (2005). Bioreactor Performance In Anaerobic Pemanfaatan Sampah Sayur.....
- Digestion Of Fruit And Vegetable Wastes, *Process Biochemistry*. 40:989-995.
- Christy, A.D., Rismani-Yazdi, H., Carver, S., Yu, Z., Touvinen, O.H., Dehorty, B., Pashmi, N., Mullin, C. bower, T., & Halim, W. (2008). *Cellulose Conversion To Electricity in Microbial Fuel Cells: Challenges and Constrints*. Departement of Food, Agricultural, and Biological Engineering. Microbial Fuel Cells First International Symposium.
- Dalemo, M., Sonesson, U., Jonsson, H., dan Bjorklund, A. (1998). Effect of Including Nitrogen Emissions from Soil in Environmental Systems Analysis of Waste Management Strategies. *Resources, Conservation and Recycling* 24: 363-381.
- Feng, Y., Wang, X., Logan, B.E., Lee, H. (2008). Brewery Wastewater Treatment Using Air-Cathode Microbial Fuel Cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 78: 873-880.
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., dan Moberg, A. (2000). *Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste*, Stockholms University, Sweden.
- Food And Agriculture Organization (FAO) Of The United Nations. (2013).

- Production Quantity of Vegetables Primary in the World 2012*. Tersedia: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. (Akses tanggal 14 Februari 2014).
- Guerrero-Rangel, N., J.A. Rodríguez-de la Garza, Y. Garza-García, L.J. Ríos-González, G.J. Sosa Santillán, I.M. De la Garza-Rodríguez, S.Y. Martínez-Amador, M.M. Rodríguez-Garza and J. Rodríguez-Martínez. (2010). Comparative study of three cathodic electron acceptors on the performance of mediatorless microbial fuel cell. *Int. J. Electric. Power Eng.*, 4(1): 27-31.
- Gurning, N.H., Tarigan, A.P.M., & Nasution, Z.P. (2009). Studi Pengelolaan Sampah Pasar Kota Medan (Studi Kasus: Pasar Sore Padang Bulan, Medan). *Jurnal Teknik Sipil USU*, 2(3).
- Huang, L. & Logan, B.E., (2008). Electricity Generation and Treatment of Paper Recycling Wastewater Using A Microbial Fuel Cell. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 80, pp 394-355.
- Jenie, B.S.L dan Rahayu, W.P. (1993). *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Bogor: Kanisius.
- Kim, B.H., Chang, I.S., Gadd, G.M. (2007). Challenges In Microbial Fuel Cell Development And Operation. *Appl Microbiol Biotechnol*, 76(3): 485-494.
- Kim, J.E., Dec, J., Bruns, M.E., & Logan, B.E. (2008). Reduction of Odors from Swine Wastewater by Using Microbial Fuel Cells. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(8): 2540-2543.
- Liu, H., Ramnarayanan, R., & Logan, B.E. (2004). Production of Electricity During Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Environmental Science and Technology*, 38: 4040-4046.
- Logan, B.E. 2007. *Microbial Fuel Cells*. Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-23948-3.
- Madigan, M. T., Martinko, J.M., Stahl, D.A., Clark, D.P. (2011). *Brock Biology of Microorganisms Thirteenth Edition*. Benjamin Cummings: the United States of America
- Mohanakrishna G., Venkata M.S., Sarma, P.N., (2010). Bio-chemical Treatment of Distillery Wastewater in Microbial Fuel Cell Facilitating Decolorization and Desalination along with Power Generation, *Journal of Hazardous Material*, 177: 487-494.
- Rabaey, K. & Verstraete, W. (2005). Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation.

Trends in Biotechnology. 23(6): 291-298.

Sunarto, S. Pangastuti, A., dan Mahajoeno, E. (2013). *Karakteristik Metanogen Selama Proses Fermentasi Anaerob Biomassa Limbah Makanan*. Jurnal Ekosains Vol. V No. 1 Maret 2013.

Sumiati, S. 2011. Strategi Pengelolaan Lingkungan Pasar Tradisional Berdasarkan Program Pasar Berseri (studi kasus *Pasar Bulu* Kota Semarang). *Tesis*. Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.

Yokoyama, H., Ohmori, H. Ishida, H. Waki, M. Tanaka, Y. 2006. Treatment of cow-waste slurry by a microbial fuel cell and the properties of the treated slurry as liquid manure, *Animal Sci*. J.77:634-638.