

## Pemanfaatan sampah sayur pasar dalam produksi listrik melalui *microbial fuel cells*

(The usage of market vegetable waste in the production of electricity through microbial fuel cells)

Muhamad Imaduddin, Hermawan, dan Hadiyanto

Universitas Diponegoro, Indonesia  
email: muhamad.imaduddin89@gmail.com

diterima 25 Oktober 2014, disetujui 17 November 2014

---

### Abstrak

Keberadaan sampah sayur pasar begitu melimpah. Pemanfaatan sampah sayur salah satunya diolah menjadi kompos. Hasil kompos mengalami kesulitan dalam pemasarannya sehingga hanya digunakan dalam skala kecil dan juga berdampak ke lingkungan seperti asidifikasi dan eutrofikasi. Di sisi lain, ancaman krisis energi dan bahan bakar menjadikan kegiatan terkait dengan energi baru terbarukan menjadi sesuatu yang mendesak untuk segera dilakukan. Salah satu energi alternatif terbarukan ini adalah *Microbial Fuel Cells*. *MFCs* merupakan jenis utama dari *bioelectrochemical system* yang mengonversi biomassa secara spontan menjadi listrik melalui aktivitas metabolisme mikroorganisme. Tujuan penelitian adalah menerapkan teknologi *MFCs* sebagai aplikasi sel volta dalam memproduksi listrik dengan substrat fase *slurry* sampah sayur. Variasi dilakukan pada perbandingan fase *slurry* yaitu 1:2; 1:1, dan 2:1 serta penambahan EM4. Pengoperasian reaktor dilakukan selama 21 hari. Voltase yang dihasilkan paling besar pada reaktor R1+ (1:2 dan penambahan EM4) yaitu mencapai 1180 mV, arus listrik sebesar 5,1  $\mu$ A, dan daya listrik sebesar 6,02 mWatt, serta kerapatan daya sebesar 462,92 mWatt/m<sup>2</sup>. Keberadaan air pada *MFCs* berperan dalam mekanisme degradasi sampah sayur. Kecenderungan naiknya energi listrik yang dihasilkan pada awal pengoperasian reaktor menunjukkan adanya peningkatan sintesis seluler mikroorganisme. Penurunan energi listrik dipengaruhi pH lingkungan hidup mikroorganisme serta proses terbentuknya media lekat pada elektroda.

Kata kunci: sampah sayur pasar, listrik, *microbial fuel cells*

---

### Pendahuluan

Sayur merupakan salah satu tanaman produktif pertanian. Biomassa organik sayur begitu melimpah. Produksi sayur (primer) di dunia ditaksir oleh FAO [1] sebanyak 1.106.133.866 ton per tahun. FAO [1] dan Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Hortikultura [2] 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 [3].

Sampah sisa sayur sangat mudah ditemukan di pasar-pasar tradisional. Hasil kajian dalam [4] 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, ditemukan juga 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 [5]. Dengan

demikian, dapat diketahui bahwa timbulan sampah sayur pasar mendominasi komposisi sampah pasar tradisional. Lebih lanjut dinyatakan bahwa keberadaan sampah organik di pasar Peterongan telah diolah menjadi kompos [4]. Meskipun demikian, kenyataan di lapangan hasil olahan kompos mengalami kesulitan dalam pemasarannya sehingga hanya digunakan dalam skala kecil. Kondisi yang demikian juga dipaparkan dalam [6] 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 [7]. Penyebab terjadinya asidifikasi di lingkungan adalah dari ammonia yang terlepas ke udara [8]. 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 [9] 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 dunia. 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* (MFCs). MFCs merupakan jenis utama dari *bioelectrochemical system* (BECs) yang mengonversi biomassa secara spontan menjadi listrik melalui aktivitas metabolisme mikroorganisme. MFCs dianggap sebagai teknologi berkelanjutan untuk menghadapi peningkatan kebutuhan energi

terutama kaitannya dengan penggunaan limbah dan sampah yang mengandung substrat berupa materi organik. MFCs telah banyak digunakan untuk mengolah air limbah seperti limbah domestik [10,11], limbah bir [12,13], limbah wiski [14], limbah industri gula [13], limbah industri kertas [15], limbah penggilingan padi, limbah peternakan babi [16], dan limbah fenolik. 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.

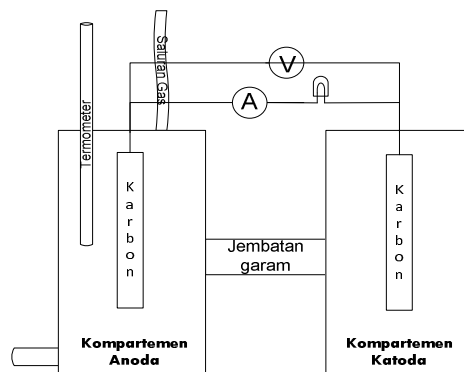
## Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan skala laboratorium, yaitu dengan membuat miniatur sistem yang dioperasikan untuk mendapatkan data dengan menggunakan reaktor *microbial fuel cells*. Sampel sampah yang digunakan dalam penelitian ini 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 penelitian ini 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 (20 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.

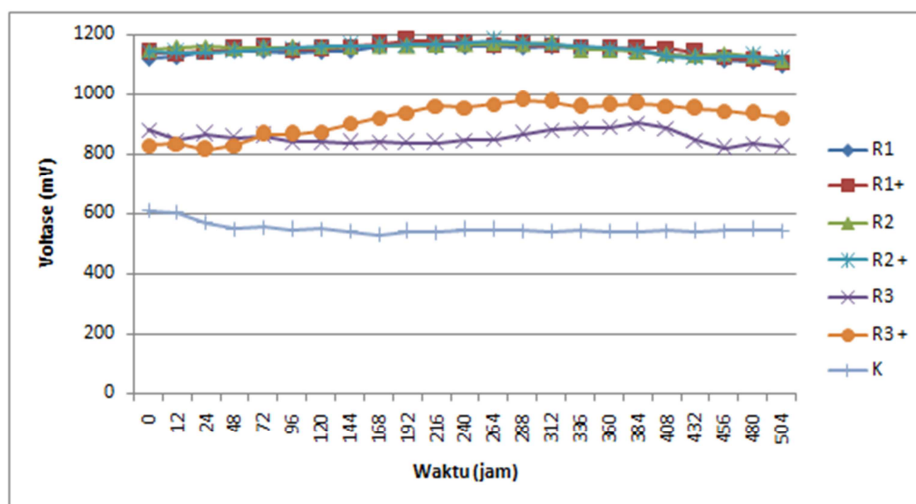
**Tabel 2.** Komposisi sampah sayur pasar hasil sampling.

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 diatas, dibuat fase *slurry* sampah sayur dengan komposisi persentase jenis sayur. Fase *slurry* ini digunakan sebagai substrat pada kompartemen anoda. 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 [17]. Proses degradasi sampah

sayur tersebut termasuk reaksi oksidasi. Christy [18] 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.

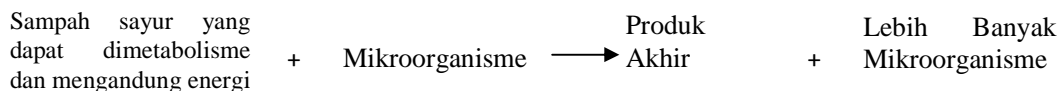
Hasil penelitian menunjukkan adanya voltase dan arus listrik yang mengalir pada masing-masing reaktor. Perubahan voltase pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 2.



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

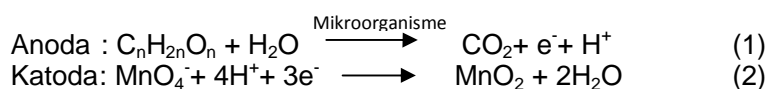
Berdasarkan Gambar 3. dapat diketahui bahwa pada awalnya terjadi kenaikan beda potensial pada masing-masing reaktor. Selanjutnya, terjadi penurunan voltase pada masing-masing reaktor. Kenaikan voltase pada reaktor diakibatkan meningkatnya aktivitas mikroorganisme. Logan [19] menyatakan bahwa transfer 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 [20]. Dengan demikian, mikroorganisme akan menjadi lebih berlimpah. Mekanismenya dapat digambarkan sebagai berikut.



Pada kompartemen anoda, mikroorganisme akan mengoksidasi material organik pada kondisi anaerob. Proses inilah yang berperan dalam produksi elektron atau listrik pada reaktor *MFCs* [21,22]. Dengan adanya jumlah mikroorganisme yang lebih banyak, tentunya

proses oksidasi akan bejalan semakin banyak. Gula sederhana sebagai molekul biodegradable terdegradasi dapat dituliskan melalui persamaan berikut:

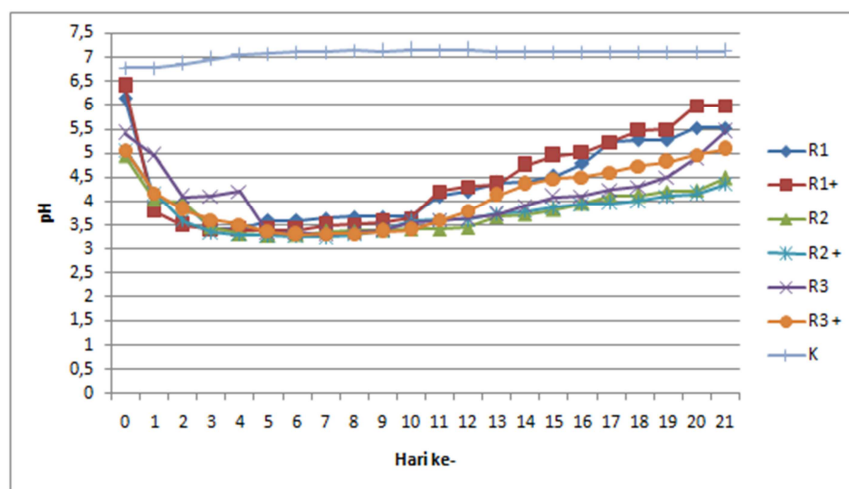


Elektron akan mengalir melalui sirkuit kompartemen anoda. Selanjutnya, proton akan melewati jembatan garam untuk menstabilkan muatan pada kedua kompartemen. Pada kondisi ini, terjadi perbedaan potensial antara kompartemen katoda dan anoda. Proton dan elektron yang berasal dari anoda digunakan untuk mereduksi  $Mn^{7+}$  menjadi  $Mn^{4+}$  [23]. Adanya elektron yang mengalir pada sistem tiap satuan waktu akan menghasilkan arus listrik.

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

pengurangan padatan mikroba [20]. 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 [24] 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.



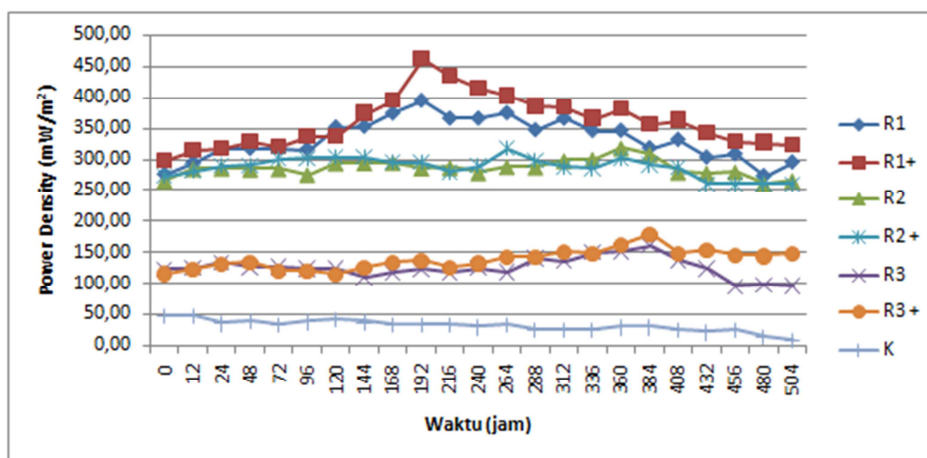
**Gambar 3.** Perubahan pH pada masing-masing reaktor MFCs.

Gambar 3 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 [20]. 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.* [25] menyatakan bahwa materi organik partikulat dari sampah sayur seperti selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, akan mengalami

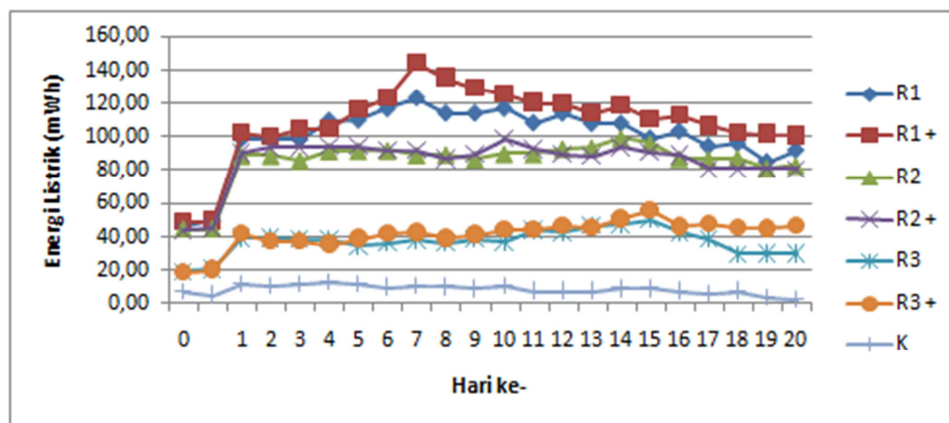
pencairan dengan adanya enzim ekstraselular sebelum digunakan oleh bakteri asidogenik. Bakteri-bakteri pembentuk asam ini tumbuh dengan cepat dan menguraikan glukosa menjadi asam-asam asetat, propionat dan butirat. Konversi glukosa menjadi asam asetat menghasilkan energi yang besar bagi pertumbuhan bakteri 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. Dinyatakan pula bahwa aktivitas biologi dapat mengubah pH substrat [20]. 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 mikroorganisme. Kondisi voltase yang berubah berdampak pada kerapatan daya dan energi yang dihasilkan pada masing-masing reaktor. Gambar 4 dan 5. menunjukkan perubahan kerapatan daya (*power density*) yang terjadi pada masing-masing reaktor.



Gambar 4. Grafik yang menunjukkan perubahan *power density* tiap periode waktu.



Gambar 5. Grafik yang menunjukkan perubahan Energi Listrik tiap periode waktu.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dan 5. 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  $\mu$ A, dan daya listrik sebesar 6,02 mWatt, serta

kerapatan daya sebesar 462,92 mWatt/m<sup>2</sup>. 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 [26]. Pada proses

pengolahan awal, energi yang dihasilkan dari metabolisme bahan organik sebagian besar digunakan untuk membentuk biofilm. Sel-sel teradsorpsi dipermukaan 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 [27]. 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 [26]. Adapun total energi listrik yang dihasilkan pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Energi total yang dihasilkan reaktor MFCs selama 21 hari pengoperasian.

No	Reaktor	Energi Total (mWh)
1	K	194,41
2	R1	2231,79
3	R1+	2422,21
4	R2	1903,07
5	R2+	1912,02
6	R3	826,00
7	R3+	925,31

Berdasarkan Tabel 3. 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  $\mu$ A, dan daya listrik sebesar 6,02 mWatt, serta kerapatan daya sebesar 462,92 mWatt/m<sup>2</sup>.

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.

## Daftar Pustaka

- [1]. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Production Quantity of Vegetables Primary in the World 2012, 2013. Tersedia: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. (Akses tanggal 14 Februari 2014).

- [2]. Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Hortikultura, Produksi Sayuran di Indonesia, 2008–2012, 2013.  
Tersedia:  
<http://www.deptan.go.id/infoeksekutif/horti/horti-asem2012/Prod-Sayuran.pdf>.
- [3]. A. Asgar dan D. Musaddad, J. Hortikultura, 16 (2006) 4, pp. 349-355.
- [4]. H. Aryanti, Tesis, Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, 2009.
- [5]. N. H. Gurning, A. P. M. Tarigan, dan Z. P. Nasution, Jurnal Teknik Sipil USU, 2 (2009) 3.
- [6]. S. Sumiati, Tesis, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, 2011.
- [7]. G. Finnveden, J. Johansson, P. Lind, dan A. Moberg, Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste, Stockholms University, Sweden, 2000.
- [8]. M. Dalemo, U. Sonesson, H. Jonsson, dan A. Bjorklund, Resources, Conservation and Recycling 24 (1998), pp. 363-381.
- [9]. BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Energi terbarukan, Solusi Krisis Energi Masa Depan, 2010.  
Tersedia:  
<http://www.bppt.go.id/index.php/home/58-teknologi-material/433-energi-terbarukan-solusi-krisis-energi-masa-depan>.  
Diakses tanggal 15 Desember 2013.
- [10]. H. Liu, R. Ramnarayanan, dan B. E. Logan, Environmental Science and Technology, 38 (2004), pp. 4040-4046.
- [11]. Y. Ahn dan B. E. Logan, Bioresource Technology, 101 (2010), pp. 469 – 475.
- [12]. Y. Feng, X. Wang, B. E. Logan, H. Lee, Applied Microbiology and Biotechnology, 78 (2008), pp. 873-880.
- [13]. S. M. Abhilasha, dan V. N. Sharma, Journal of Biochemical Technology, 2 (2009) 1, pp. 133-137.
- [14]. G. Mohanakrishna, M. S. Venkata, P. N. Sarma, Journal of Hazardous Material, 177 (2010), pp. 487-494.
- [15]. L. Huang dan B. E. Logan, Applied Microbiology and Biotechnology, 80 (2008) pp 394-355.
- [16]. J. E. Kim, J. Dec, M. E. Bruns, dan B. E. Logan, Applied and Environmental Microbiology, 74 (2008) 8, pp. 2540-2543.
- [17]. H. Yokoyama, H. Ohmori, H. Ishida, M. Waki, dan Y. Tanaka, J. Animal Sci., 77 (2006), pp. 634-638.
- [18]. A. D. Christy, H. Rismani-Yazdi, S. Carver, Z. Yu, O. H. Touvinen, B. Dehorty, N. Pashmi, C. Mullin, T. bower, dan W. Halim, Cellulose Conversion To Electricity in Microbial Fuel Cells: Challenges and Constrints, Departement of Food, Agricultural, and Biological Engineering. Microbial Fuel Cells First International Symposium, 2008.
- [19]. B. E. Logan, Microbial Fuel Cells, Wiley-Interscience, 2007.
- [20]. B. S. L. Jenie dan W. P. Rahayu, Penanganan Limbah Industri Pangan, Bogor, Kanisius, 1993.
- [21]. L. T. Angenent, *et. al.*, Production Of Bioenergy and Biochemichals From Industrial and Agricultural Wastewater, TRENDS In Biotechnology, 22 (2004) 9.
- [22]. K. Rabaey dan W. Verstraete, Trends in Biotechnology. 23 (2005) 6, pp. 291-298.
- [23]. N. Guerrero-Rangel, 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, dan J. Rodríguez-Martínez, Int. J. Electric. Power Eng., 4 (2010) 1, pp. 27-31.
- [24]. M. T. Madigan, J. M. Martinko, D. A. Stahl, dan D. P. Clark, Brock Biology of Microorganisms, Thirteenth Edition, Benjamin Cummings, USA, 2011.



- [25]. H. Bouallagui, Y. Touhami, R. Ben Cheikh, M. Hamdi, *Process Biochemistry*, 40 (2005), pp. 989-995.
- [26]. B. H. Kim, I. S. Chang, G. M. Gadd, *Appl Microbiol Biotechnol*, 76 (2007) 3, pp. 485-494.
- [27]. S. Sunarto, A. Pangastuti, dan E. Mahajoeno, *Jurnal Ekosains*, V (2013) 1.