

**THE UTILIZATION OF MARKET VEGETABLE WASTE AS  
BIOLISTRIC THROUGH MICROBIAL FUEL CELL FOR THE  
DESIGN OF SENIOR HIGH SCHOOL BIOLOGY MATERIAL  
HANDOUT**

**Hari Arasyid, Imam Mahadi, Darmawati**

arasyidhari@gmail.com, i\_mahadi@yahoo.com, darmawati\_msi@yahoo.com  
Phone : 085376600663

Study Program of Biology Education  
Faculty of Teacher Training and Education  
University of Riau

***Abstract** : Vegetable waste is a habitat for microorganism that are very threatening to people's health if not managed properly. Management of vegetable waste can be done through a microbial fuel cell while producing useful alternative energy in the form of electricity. This study aims to determine the benefits of market vegetable waste as a biolistic through a microbial fuel cell. This study uses a quantitative approach with a type of Completely Randomized Design (CRD) research. The results showed the highest electrical energy value was obtained in R3 + treatment that is 8.93 mV at an average pH of substrate 4.5, the initial temperature of the substrate 32oC and the final temperature of the substrate 30°C. Based on further Duncan Multiple Range Test (DMRT) at the 5% level, the addition of 50 ml of Effective Microorganism 4 can increase the electrical energy produced in the reactor. It was concluded that vegetable waste can produce electrical energy by utilizing electrochemical cells based on microbial fuel cells.*

***Key words** : Vegetable waste, microbial fuel cell, and effective microorganism 4.*

# PEMANFAATAN SAMPAH SAYUR PASAR SEBAGAI BIOLISTRIK MELALUI *MICROBIAL FUEL CELL* UNTUK RANCANGAN HANDOUT MATERI BIOLOGI SMA

**Hari Arasyid, Imam Mahadi, Darmawati**

arasyidhari@gmail.com, i\_mahadi@yahoo.com, darmawati\_msi@yahoo.com

No. HP : 085376600663

Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA FKIP  
Universitas Riau, Pekanbaru 28293

**Abstrak** : Sampah sayur merupakan habitat mikroorganisme yang sangat mengancam kesehatan masyarakat apabila tidak dikelola dengan baik. Pengelolaan terhadap sampah sayur dapat dilakukan melalui *microbial fuel cell* sekaligus menghasilkan energi alternatif yang bermanfaat berupa listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui manfaat sampah sayur pasar sebagai biolistrik melalui *microbial fuel cell*. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian Rancangan Acak Lengkap (RAL). Hasil penelitian menunjukkan nilai energi listrik tertinggi diperoleh pada perlakuan R3+ yakni 8,93 mV pada rata-rata pH substrat 4,5, suhu awal substrat 32°C dan suhu akhir substrat 30°C. Berdasarkan uji lanjut *Duncans Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% penambahan *Effective Microorganism 4* sebanyak 50 ml dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan pada reaktor. Disimpulkan bahwa sampah sayur dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan sel elektrokimia berbasis *microbial fuel cell*.

**Kata kunci** : Sampah sayur, *microbial fuel cell*, dan *effective microorganism 4*.

## PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah produksi dan konsumsi yang terjadi di masyarakat Kota Pekanbaru menyebabkan dampak yang tidak asing lagi yaitu sampah. Data dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru pada tahun 2015 menunjukkan bahwa jumlah sampah di Kota Pekanbaru mencapai 450 ton per hari (Aliamin Tabrani Husain, 2016). Sampah-sampah tersebut terdiri dari berbagai jenis sampah organik dan anorganik. Ada beberapa faktor yang menyebabkan penanggulangan terhadap sampah belum berjalan dengan maksimal, seperti volume sampah yang terlalu besar, lahan TPA yang semakin sempit, teknologi pengelolaan yang tidak optimal, serta kurangnya dukungan kebijakan dari pemerintah.

Salah satu jenis sampah organik adalah sampah yang berasal dari produksi sayur. Sampah-sampah sayur banyak dijumpai di pasar-pasar tradisional di Kota Pekanbaru. Banyaknya sampah sayur akan berpotensi menimbulkan limbah yang akan mengganggu berbagai aspek kehidupan. Hal tersebut dikarenakan sayur merupakan tanaman yang memiliki kandungan air yang cukup tinggi sehingga sangat mudah bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang.

Pengelolaan terhadap sampah sayur perlu dilakukan untuk menurunkan parameter pencemar sehingga tidak mencemari lingkungan. Salah satu bentuk pengelolaan terhadap sampah sayur dapat dilakukan melalui pengolahan anaerob. Pengelolaan ini memanfaatkan mikroorganisme lokal sampah sayur untuk menguraikan zat organik pada sampah yang mana pada prosesnya juga akan menghasilkan energi, dengan begitu sampah sayur dapat lebih berguna bagi masyarakat.

Di samping itu, meningkatnya kebutuhan energi listrik pada saat ini memicu adanya pengembangan sumber energi alternatif untuk mensubstitusi penggunaan minyak bumi yang selama ini menjadi sumber energi utama bagi masyarakat. *Fuel cell* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi. Sistem ini bersifat ramah lingkungan, karena tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Selain itu, sistem ini dapat menjadi solusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah (Shukla *et al.*, 2004).

Salah satu jenis dari *fuel cell* adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC). *Microbial Fuel Cell* merupakan teknologi pembangkit listrik yang memanfaatkan bakteri sebagai penghasil energi dengan cara memanfaatkan kemampuan metabolisme bakteri (Aulia dan I Gusti, 2016). *Microbial Fuel Cell* menggunakan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik, yang mana dari proses oksidasi tersebut akan menghasilkan potensial listrik berupa elektron.

Penggunaan MFC dalam memanfaatkan sampah sayur untuk menghasilkan biolistrik dapat dimaksimalkan dengan cara menambahkan mikroorganisme aktif ke dalam substrat reaktor, salah satunya bisa didapatkan dari *Effective Microorganism 4* (EM4). Penambahan EM4 ke dalam substrat reaktor MFC akan menyebabkan semakin banyaknya mikroorganisme yang akan menguraikan material organik dalam substrat, dengan demikian maka pembentukan elektron yang terjadi akan semakin cepat sehingga potensial listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar (Muhamad Imaduddin dkk, 2014).

Pemanfaatan sampah sayur sebagai biolistrik merupakan salah satu bentuk dari aplikasi bioteknologi dalam produksi bahan bakar dan energi. Permasalahan yang terjadi adalah kurangnya bahan ajar pendukung yang memberikan pengetahuan secara spesifik mengenai materi tersebut. Hal ini mengakibatkan pengetahuan peserta didik

dalam memahami konsep bioteknologi dan produksi energi sangat terbatas. Maka dari itu, guru biologi dituntut untuk dapat memanfaatkan segala sesuatu yang dapat membantu siswa dalam proses pembelajaran, salah satunya berupa pengembangan bahan ajar berbasis penelitian seperti *handout*.

*Handout* merupakan media cetak yang meliputi bahan-bahan di atas kertas yang disiapkan oleh guru sebagai bahan pengajaran dan informasi belajar (Daryanto dan Aris Dwi Cahyono, 2014). *Handout* menyajikan materi yang ringkas namun padat dan sesuai dengan indikator tujuan pembelajaran, sehingga menghemat waktu dan siswa akan lebih mudah mengetahui pokok materi yang diberikan oleh guru.

Dalam hal ini, peneliti membuat rancangan *handout* sebagai bahan ajar bagi peserta didik yang mengandung informasi mengenai bioteknologi bahan bakar dan energi. Penggunaan bahan ajar berupa *handout* diperlukan untuk menambah pengetahuan peserta didik dalam proses pembelajaran sehingga peserta didik lebih mudah untuk memahami konsep-konsep materi yang diajarkan. Materi yang disajikan dalam *handout* ini terletak pada KD 3.10 di kelas XII yaitu menganalisis data perubahan lingkungan dan penyebab, serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan. Materi pada KD ini mencakup beberapa bentuk aplikasi bioteknologi dalam produksi energi. Hasil penelitian tentang pemanfaatan sampah sayur pasar sebagai biolistrik melalui *microbial fuel cell* ini dapat digunakan untuk memperkaya materi khususnya mengenai penggunaan mikroorganisme dalam bioteknologi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biologi Jurusan PMIPA FKIP dan Kampus Bina Widya Universitas Riau pada bulan Mei sampai Oktober 2018. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 7 perlakuan dan 3 kali ulangan. Konsentrasi yang dibuat merupakan rujukan dari penelitian Muhamad Imaduddin dkk (2014), sedangkan desain reaktor MFC merupakan modifikasi dari rujukan Heryani (2012) dalam M. Irsyad Nur (2016) dengan tipe *dual chamber*. Sampel dalam penelitian ini adalah sampah yang ada di Pasar Simpang Baru Panam Kecamatan Tampar Kota Pekanbaru. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara *random sampling*, yaitu dengan cara mengambil sampah-sampah sayur dari suatu tumpukan secara acak.

Berdasarkan sampling yang telah dilakukan, adapun komposisi sampah yang diperoleh dari 8 kg sampah sayur dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Komposisi jenis sampah yang diperoleh

No	Jenis Sayur	Massa (kg)	Persentase (%)
1	Kubis	2	25,0
2	Sawi	1	12,5
3	Daun Singkong	1	12,5
4	Kangkung	1	12,5
5	Pakis	0,9	11,25
6	Labu Air	0,8	10
7	Timun	0,6	7,5
8	Lain-lain	0,7	8,75

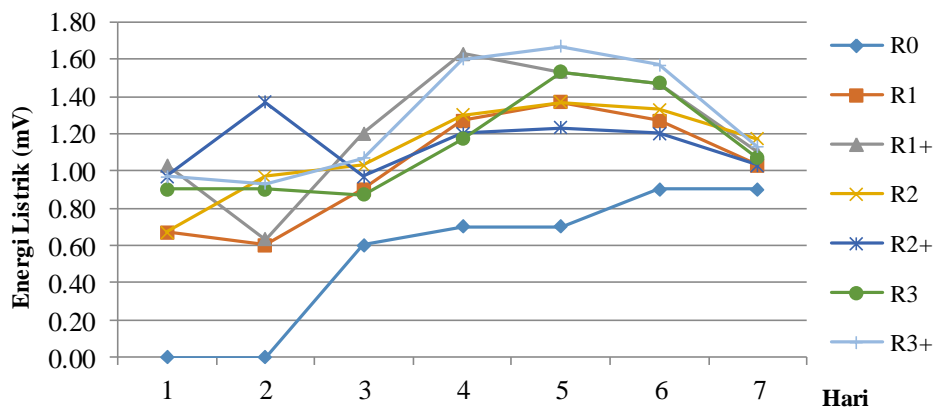
Penelitian ini diawali dengan pembuatan bubur sampah sayur (*slurry*) sebagai substrat kompartemen anoda serta pembuatan larutan elektrolit berupa KCl 1 M sebagai mediator pada kompartemen katoda reaktor MFC. Selanjutnya reaktor MFC dibuat dengan merangkai 2 botol kaca tertutup menggunakan kabel dan elektroda yang menjadi kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda). Reaktor ini dibuat sebanyak 21 unit sesuai dengan jumlah perlakuan dan ulangan. Setelah itu, reaktor MFC diisi dengan bubur sampah sayur dan larutan KCl 1 M yang selanjutnya dioperasikan dalam suhu ruang selama 7 hari. Teknik analisis data secara statistik menggunakan program *SPSS for windows Release* versi 24. Analisis yang digunakan adalah uji parametrik Anova *one way*. Jika terdapat perbedaan maka dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncans Multiple Range Test* dengan taraf kepercayaan 95 %.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pemanfaatan Sampah Sayur sebagai Biolistrik melalui *Microbial Fuel Cell*

#### 1. Pengamatan Energi Listrik

Penambahan EM4 dan perbedaan konsentrasi bubur sampah yang digunakan sebagai kompartemen anoda dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan selama rangkaian dioperasikan. Perbedaan jumlah energi yang dihasilkan pada masing-masing perlakuan dibuktikan pada gambar 1.



Gambar 1. grafik hasil pengukuran energi listrik (mV) dari sampah sayur hari ke 1-7

Perbedaan konsentrasi substrat serta ada atau tidaknya penambahan EM4 pada setiap perlakuan sangat mempengaruhi jumlah energi listrik yang dihasilkan. Pada perlakuan R0 (kontrol) menunjukkan produksi energi listrik yang sangat rendah yaitu 0,90 mV. Adanya potensial listrik yang dihasilkan pada perlakuan R0 disebabkan oleh adanya bakteri pada air yang digunakan sebagai substrat kompartemen anoda. Sebab air yang digunakan adalah air kran biasa sehingga tidak menjamin air tersebut bebas dari kontaminasi. Namun, ketiadaan sampah sayur sebagai sumber energi menyebabkan proses metabolisme yang terjadi pada bakteri di dalam air tidak berjalan dengan optimal sehingga elektron yang dihasilkan sangat sedikit.

Penambahan EM4 ke dalam substrat dilakukan untuk menambah daya aktivasi bakteri yang ada pada sampah sayur. Dengan demikian, diharapkan proses metabolisme yang terjadi pada bakteri juga akan semakin cepat sehingga menghasilkan elektron atau energi listrik yang lebih besar. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Eko Susanto dan Eddy S. Hartanto (2012) yang menjelaskan bahwa banyaknya jumlah mikroorganisme yang terdapat pada suatu substrat limbah akan mempercepat proses oksidasi yang berlangsung. Hasil uji ANAVA dan uji lanjut DMRT pengamatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Energi listrik yang dihasilkan dari berbagai perlakuan sampah sayur.

Perlakuan	Parameter
	Energi Listrik (mV)
R0 (350ml Air)	3,80 a
R1 (600ml Air + 300gr Sampah Sayur)	7,10 b
R1+ (600ml Air + 300gr Sampah Sayur + EM4)	8,60 b
R2 (300ml Air + 300gr Sampah Sayur)	7,83 b
R2+ (300ml Air + 300gr Sampah Sayur + EM4)	7,96 b
R3 (300ml Air + 600gr Sampah Sayur)	7,90 b
R3+ (300ml Air + 600gr Sampah Sayur + EM4)	8,93 b

Huruf yang tidak sama pada kolom menunjukkan hasil berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%.

Pada (Tabel 2) rata-rata energi listrik yang paling tinggi ditunjukkan pada perlakuan R3+ yaitu 8,93 mV. Jumlah tersebut tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan R1, perlakuan R1+, perlakuan R2, perlakuan R2+ dan perlakuan R3. Tetapi nilai tersebut berbeda nyata dengan perlakuan R0 (kontrol) yang memiliki nilai energi listrik terendah yaitu sebesar 3,80 mV. Hal ini berarti bahwa penggunaan sampah sayur yang ditambah EM4 sebagai substrat kompartemen anoda mampu menghasilkan energi listrik lebih besar dibandingkan dengan hanya menggunakan air ataupun sampah sayur saja.

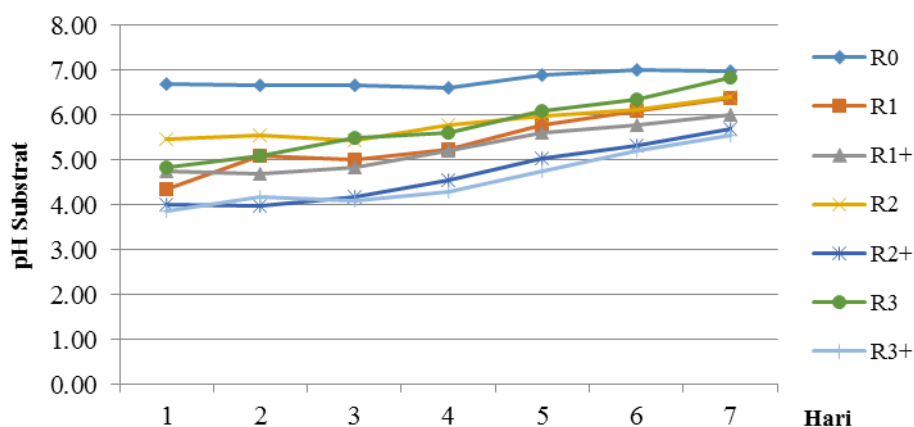
Christy *et al.*, (2008) dalam Muhammad Imaduddin dkk (2014) menjelaskan bahwa proses terbentuknya listrik terjadi akibat proses perubahan senyawa glukosa dalam substrat sampah sayur melalui proses hidrolisis, fermentasi, dan elektrogenesis. Pada *microbial fuel cell* reaksi pada kutub anoda terjadi secara anaerob, dimana bakteri akan mengoksidasi kandungan glukosa yang terdapat pada sampah sayur untuk dapat membentuk ATP, NADH dan asam piruvat. Molekul ATP yang dihasilkan dalam reaksi ini akan digunakan oleh bakteri sebagai sumber energi, sedangkan molekul NADH dan asam piruvat yang akan melepaskan elektron ( $e^-$ ) dan ion  $H^+$  yang akan di transfer ke kutub katoda untuk menghasilkan potensial listrik.

Sejalan dengan itu, I Nyoman Suprpta Winaya dkk (2011) menjelaskan bertambahnya potensial listrik pada reaktor *microbial fuel cell* dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme di dalam substrat. Hal ini menjelaskan mikroorganisme menggunakan substrat sampah sayur untuk mensintesis bahan seluler baru dan menyediakan energi untuk sintesis. Adanya substrat sampah sayur sebagai makanan eksogenes mikroorganisme mengakibatkan sintesis bahan seluler baru akan lebih banyak dari pada respirasi endogenes. Dengan demikian ketika aktivitas mikroorganisme berkurang maka proses oksidasi bahan organik menjadi semakin

sedikit, sehingga jumlah elektron yang mengalir serta proton yang dihasilkan juga akan semakin sedikit.

## 2. Pengamatan pH Substrat

Potensial Hidrogen (pH) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan, atau benda (Wikipedia, 2018). Bagi mikroorganisme pH merupakan salah satu faktor fisik yang mempengaruhi laju pertumbuhannya. Dalam sistem *microbial fuel cell*, produksi energi listrik yang dihasilkan bergantung pada pertumbuhan bakteri di dalam substrat. Perbedaan konsentrasi yang digunakan dalam setiap kompartemen anoda juga menyebabkan terjadinya perbedaan kondisi pH yang dihasilkan, hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Grafik hasil pengukuran pH pada substrat sampah sayur hari ke 1-7

Berdasarkan gambar di atas, nilai pH yang dihasilkan cenderung menurun di hari ke 3 dan ke 4, kemudian naik kembali hingga hari terakhir pengoperasian reaktor. Perbedaan konsentrasi substrat serta ada atau tidaknya penambahan EM4 pada setiap perlakuan sangat mempengaruhi nilai pH yang dihasilkan. Pada hari terakhir pengoperasian reaktor, nilai pH pada perlakuan R0 (kontrol) menjadi yang paling tinggi yaitu 6,99, sedangkan pada perlakuan R3+ nilai pH yang dihasilkan sebesar 5,54. Hasil uji ANAVA dan uji lanjut DMRT pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata pH yang dihasilkan setiap reaktor selama pengoperasian.

Perlakuan	Parameter
	pH Substrat
R0 (350ml Air)	6,79 a
R1 (600ml Air + 300gr Sampah Sayur)	5,43 b
R1+ (600ml Air + 300gr Sampah Sayur + EM4)	5,27 b
R2 (300ml Air + 300gr Sampah Sayur)	5,82 b
R2+ (300ml Air + 300gr Sampah Sayur + EM4)	4,68 b
R3 (300ml Air + 600gr Sampah Sayur)	5,76 b
R3+ (300ml Air + 600gr Sampah Sayur + EM4)	4,56 b

Huruf yang tidak sama pada kolom menunjukkan hasil berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%.

Pada (Tabel 3) rata-rata pH yang paling rendah ditunjukkan pada perlakuan R3+ yaitu 4,56. Jumlah tersebut tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan R1, perlakuan R1+, perlakuan R2, perlakuan R2+ dan perlakuan R3. Tetapi nilai tersebut berbeda nyata dengan perlakuan R0 (kontrol) yang memiliki nilai energi listrik terendah yaitu sebesar 6,79. Hal ini berarti bahwa perbedaan konsentrasi yang digunakan pada setiap kompartemen anoda reaktor sangat mempengaruhi nilai pH yang dihasilkan. Madigan (2011) mengemukakan, pada kondisi anaerob, pertumbuhan mikroorganisme lebih baik dalam kondisi netral (pH 7,0) atau sedikit basa (pH 7,2-7,4), tetapi pada umumnya dapat hidup pada pH 6,6–7,5. Liu *et al.*, (2004) juga menjelaskan sebagian besar MFC beroperasi pada pH mendekati netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukan listrik.

Potensial Hidrogen (pH) merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme. Dalam reaksi anaerob perombakan substrat menjadi air terjadi dengan tidak sempurna, sehingga sebagian molekul hidrogen yang terlepas dari substrat akan bereaksi dengan senyawa lain dan akan membentuk asam yang akan mempengaruhi nilai pH yang dihasilkan. Hal ini membuktikan penjelasan Muhamad Imaduddin dkk (2014) yang mengemukakan bahwa peristiwa naik turunnya nilai pH pada substrat MFC menunjukkan adanya reaksi pembentukan asam pada reaktor.

### 3. Pengamatan Suhu Substrat

Velmurugan dan Alwar Ramunujam (2011) menjelaskan, bakteri dalam substrat sampah sayur merupakan jenis bakteri pembentuk metan (*acetoclastic methane bacteria*). Bakteri-bakteri tersebut memanfaatkan asam-asam asetat, propionat dan butirir yang dikonversi dari glukosa dalam substrat sampah sayur sebagai sumber energi utama dalam pertumbuhannya. Berkaitan dengan hal tersebut, Sri Suciati dkk (2014) juga mengemukakan terdapat dua rentang suhu optimum bagi bakteri metanogenik yaitu 30-35°C. Nilai pengukuran suhu dalam produksi biolistrik pada reaktor MFC adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil pengukuran suhu pada awal dan akhir pengoperasian reaktor.

Perlakuan	Parameter	
	Suhu (°C)	
	Awal	Akhir
R0 (350ml Air)	32	30
R1 (600ml Air + 300gr Sampah Sayur)	32	31
R1+ (600ml Air + 300gr Sampah Sayur + EM4)	31	30
R2 (300ml Air + 300gr Sampah Sayur)	31	30
R2+ (300ml Air + 300gr Sampah Sayur + EM4)	32	31
R3 (300ml Air + 600gr Sampah Sayur)	31	30
R3+ (300ml Air + 600gr Sampah Sayur + EM4)	32	30

Berdasarkan Tabel 4 di atas, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan suhu pada akhir pengoperasian reaktor *microbial fuel cell*. Hal itu menunjukkan terjadinya penurunan aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam substrat sampah sayur. Velmurugan dan Alwar Ramunujam (2011) menjelaskan, materi organik partikulat dari



sampah sayur seperti selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, merupakan sumber energi bagi mikroorganisme dalam pertumbuhannya. Materi-materi organik tersebut disintesis oleh bakteri secara aerob, yang mana erat kaitannya dengan peristiwa glikolisis.

Peristiwa glikolisis yang terjadi pada reaktor *microbial fuel cell* berjalan secara anaerob, dimana molekul glukosa yang memiliki enam atom karbon akan diurai secara enzimatik sehingga menghasilkan dua molekul piruvat yang memiliki tiga atom karbon. Namun selama reaksi tersebut berlangsung, perombakan yang terjadi berjalan tidak sempurna, sehingga sebagian molekul hidrogen yang terlepas dari substrat akan bereaksi dengan senyawa lain dan akan membentuk asam. Akibat dari reaksi pembentukan asam tersebut, akan dihasilkan pula produk sampingan berupa kalor yang akan mempengaruhi suhu pada substrat.

Penjelasan di atas sejalan dengan pernyataan I Putu dkk (2012) yang mengemukakan bahwa penguraian bahan organik akan menghasilkan bahan sampingan seperti kalor (panas). Energi kalor tersebut akan berubah ketika sumber utama yang berguna dalam reaksi metabolik berkurang atau bertambah. Berdasarkan penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya proses penguraian bahan organik yang terjadi pada sampah sayur mengakibatkan terjadinya perubahan suhu. Hal yang demikian dapat terjadi disebabkan karena berkurangnya bahan organik dalam substrat sampah sayur, yang merupakan sumber energi utama dalam reaksi metabolik pada bakteri.

## **B. Analisis Potensi dan Pengembangan Rancangan *Handout* Pembelajaran dari Hasil Penelitian**

Pengembangan rancangan *handout* pembelajaran dari hasil penelitian dilakukan dengan 2 tahap yaitu analisis dan desain. Tahapan-tahapan tersebut dijadikan landasan dalam merancang *Handout* Materi Biologi kelas XII SMA, sebagai berikut:

### **1. Analisis**

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, KD 3.10 kelas XII dipilih untuk dijadikan pengayaan *handout* mengenai Bioteknologi dan Produksi Energi. Sebab, rangkaian kerja ilmiah dan parameter yang diukur dalam penelitian ini sangat berkaitan dengan materi pada KD tersebut yakni penggunaan mikroorganisme dalam bioteknologi. *Handout* pembelajaran yang telah dibuat dapat diaplikasikan pada pertemuan ketiga melalui model pembelajaran *Discovery Learning* (DL) untuk menambah pengetahuan serta kemampuan analisis peserta didik.

### **2. Desain**

Tahap desain meliputi tahap perancangan perangkat pembelajaran dan tahap perancangan *handout*. Perancangan perangkat pembelajaran meliputi silabus, RPP dan instrumen penilaian. Silabus yang dikembangkan telah disesuaikan dengan ketetapan Kemendikbud tahun 2017 tentang pedoman model silabus mata pelajaran kurikulum 2013. Adapun *handout* yang dirancang pada penelitian ini merupakan *handout* dengan materi Bioteknologi Bahan Bakar dan Energi. Desain rancangan *handout* pembelajaran biologi yang dibuat mengacu kepada Enggia Pradipta, dkk (2014) yang terdiri atas *cover*, kata pengantar, daftar isi, petunjuk belajar, pendahuluan, kompetensi yang ingin dicapai (KI, KD, Indikator Pencapaian), penjelasan materi pokok, evaluasi, dan sumber referensi.

## SIMPULAN DAN REKOMENDASI

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sampah sayur dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan sel elektrokimia berbasis *microbial fuel cell*. Nilai energi listrik tertinggi didapat pada perlakuan R3+ dengan rata-rata energi listrik yang dihasilkan sebanyak 8,93 mV. Data hasil penelitian ini dapat dikembangkan menjadi *handout* untuk peserta didik di SMA kelas XII dalam mempelajari penerapan bioteknologi dan produksi energi.

### Rekomendasi

Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penambahan terhadap konsentrasi substrat sampah sayur yang digunakan dalam reaktor *microbial fuel cell*. Selain itu, pemilihan jenis elektroda yang lebih bersifat konduktor diharapkan dapat memperlancar kinerja reaktor *microbial fuel cell* sehingga mampu memperbesar jumlah energi listrik yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. K. Shukla, P. Suresh, S. Berchmans dan A. Rajendran. 2004. Biological Fuel Cells and Their Applications. *Current Science* 87 (4) : 455-468.
- Aliamin Tabrani Husain. 2016. Sistem Pengolahan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar Kota Pekanbaru. *JOM FISIP* 3 (1) : 1-13.
- Aulia Cita Siswanti dan I Gusti Made Sanjaya. 2016. Pengaruh Variasi *Optical Density* Bakteri *Bacillus subtilis* Terhadap Efisiensi Listrik *Microbial Fuel Cell*. *Journal of Chemistry* 123-127.
- B. Velmurugan dan R. Alwar Ramanujam. 2011. Anaerobic Digestion of Vegetable Wastes for Biogas Production in a Fed-Batch Reactor. *Int. J. Emerg. Sci.*, 1(3) : 478-486.
- Daryanto dan Aris Dwi Cahyono. 2014. Pengembangan Perangkat Pembelajaran (Silabus, RPP, PHB dan Bahan Ajar). Gava Media. Yogyakarta.
- Eko Susanto dan Eddy S. Hartanto. 2012. Pengkajian Lumpur Aktif pada Limbah Cair Industri Bihun sebagai Sumber Mikroba dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Pangan. *Journal of Agro-Based Industry* 29 (1) : 31-39.

- Enggia Pradipta, Helendra dan Meliya Wati. 2014. Pengembangan Handout Bergambar Dilengkapi Peta Konsep pada Materi Alat Indera untuk SMP. *Jurnal Pendidikan*.
- Hong Liu, Ramanathan Ramnarayanan, dan Bruce E. Logan. 2004. Production of Electricity During Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Environ. Sci. Technol* 38 : 2281-2285.
- I Nyoman Suprpta Winaya, Made Sucipta, A.A. Krisna Wira Putra. 2011. Memanfaatkan Air Bilasan Bagas untuk Menghasilkan Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cells. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 5 (1) : 57-63.
- I Putu Awing Wiratmana, I Gusti Ketut Sukadana, dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya. 2012. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Bahan Kering Terhadap Produksi dan Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi. *Jurnal Energi dan Manufaktur* 5 (1): 22-32.
- 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.
- M. Irsyad Nur. 2016. *Isolasi Bakteri Microbial Fuel Cell pada Limbah Cair Tahu sebagai Sumber Energi Listrik untuk Pengayaan Modul Mikrobiologi Dasar*. Skripsi tidak dipublikasikan. FKIP Universitas Riau. Pekanbaru.
- Muhamad Imaduddin, Hermawan dan Hadiyanto. 2014. Pemanfaatan Sampah Sayur Pasar dalam Produksi Listrik melalui *Microbial Fuel Cells (Utilization of Market Vegetable Waste in Electricity Production Through Microbial Fuel Cells)*. *Media ElektriKa* 7(2) : 22-35.
- Sri Suciati Ningsih, Yuni Ahda, dan Dezi Handayani. 2014. Pengaruh Penambahan Beberapa Cairan Rumen Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi. *Biospecies* 7 (2) : 34-42.
- Wikipedia. 2018. *PH*. (Online). <https://id.m.wikipedia.org/wiki/PH>. (diakses pada 29 September 2018 pukul 22.00 WIB).