



Inovasi Sistem *Stack Microbial Fuel Cell* menggunakan Substrat Limbah Rumen Sapi serta Implementasinya sebagai Media Pembelajaran



Diya Novarina^{1,2*}, Eko Swistoro³, M. Lutfi Firdaus¹ dan Rosane Medriati³

¹Pascasarjana Pendidikan IPA, FKIP Universitas Bengkulu

²SMA Muhammadiyah 4 Kota Bengkulu

³Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Bengkulu

*Email: diyanovarina@gmail.com

ABSTRACT

[Innovation of microbial fuel cell stack system using cow rumen waste substrate and its implementation as a learning media]. The aims of this study are to: 1) describe the difference of Electric Motion (GGL), 2) describe the difference of electric power per unit area of the anode (Pa) which is produced between the series design MFC type series, parallel, mixed type 1 and mixed type 2, and 3) describe the significant difference of learning outcomes between the PBL learning model using MFC media with PBL learning model by using the electrical kit medium on dynamic electrical concept in SMA Muhammadiyah 4 Bengkulu. The free variable of this research are MFC stack system design (series, parallel, mixed types 1 and 2) and the dependent variable is GGL and electric power per unit of anode surface area. The results are obtained difference GGL and Pa between series design, parallel, mixed types 1 and 2 by comparison are 3: 1: 1,5: 2 whereas Pa ratio is 1: 10: 6: 2 with maximum GGL is obtained in series design of 3,29 V and Pa maximum in parallel circuit 21,76 mW / m². Implementation of MFC series as a learning media used Problem Based Learning model on physics learning Implementation of MFC circuit with research design using one group pretest-posttest design. The testing of hypothesis with t-test shows $t_{count} 2,739 > t_{table} 2,001$ and 95% significant level so it can be concluded there are significant differences in learning outcomes of PBL learning model by using MFC media with PBL learning model by using media Electric Kit on dynamic electrical concept in SMA Muhammadiyah 4 Bengkulu.

Keywords: *Stack Microbial Fuel Cell (MFC) Sistem; Rumen Cow Liquid Waste; Learning Media.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) menjelaskan perbedaan Gaya Gerak Listrik (GGL), 2) menjelaskan perbedaan daya listrik per satuan luas anoda (Pa) yang dihasilkan antara disain rangkaian MFC tipe seri, paralel, campuran tipe 1 dan campuran tipe 2, dan 3) menjelaskan perbedaan hasil belajar yang signifikan antara pembelajaran model PBL menggunakan media MFC dengan pembelajaran model PBL menggunakan media kit listrik pada konsep listrik dinamis di SMA Muhammadiyah 4 Kota Bengkulu. Penelitian sains merupakan penelitian eksperimen dengan variabel bebas adalah disain sistem stack MFC (rangkaian tipe seri, paralel, campuran tipe 1 dan 2) serta variabel terikat adalah GGL dan daya listrik per satuan luas permukaan anoda. Hasil penelitian yang diperoleh antara lain terdapat perbedaan GGL dan Pa antara disain rangkaian seri, paralel, campuran tipe 1 dan 2 dengan perbandingan 3:1:1,5:2 sedangkan perbandingan Pa adalah 1:10:6:2 dengan GGL maksimum diperoleh pada rangkaian seri sebesar 3,29 V dan Pa maksimum pada rangkaian paralel 21,76 mW/m². Implementasi rangkaian MFC sebagai media pembelajaran menggunakan model *Problem Based Learning* dengan disain penelitian menggunakan *one group pretest-posttest design*. Pengujian hipotesis dengan uji-t menunjukkan $t_{hitung} 2,739 > t_{tabel} 2,001$ dan taraf signifikan 95% sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara pembelajaran model PBL menggunakan media MFC dengan pembelajaran model PBL menggunakan media kit listrik pada konsep listrik dinamis di SMA Muhammadiyah 4 Kota Bengkulu.

Kata Kunci: Sistem *Stack Microbial Fuel Cell* (MFC); Limbah Rumen Sapi; Media Pembelajaran.

PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat seperti kebutuhan rumah tangga, industri, kesehatan, pendidikan dan lain-lain. Namun pelaksanaan penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PT.PLN (Persero) sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat secara keseluruhan. Krisis energi listrik ini memicu pengembangan sumber energi alternatif ramah lingkungan dan untuk mengganti penggunaan minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC). Zhang (2012) menyatakan MFC adalah bioelektrokimia yang dapat mengkonversi energi kimia yang tersimpan dalam limbah materi organik atau biomassa menjadi listrik dengan katalisis mikroorganisme.

Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan adalah limbah buangan dari rumah pemotongan hewan yaitu limbah dari rumen sapi. Limbah rumen sapi tersebut mengandung materi organik yang masih dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai substrat MFC untuk menghasilkan energi listrik. Menurut hasil penelitian Sitorus (2010), rangkaian tunggal MFC *single chamber* dengan memanfaatkan limbah cair menunjukkan bahwa air buangan rumen sapi memberikan beda potensial listrik paling besar diantara air buangan industri sawit dan tahu yaitu sebesar 810 mV.

Pada rangkaian tunggal MFC dihasilkan daya listrik yang cukup rendah sehingga diperlukan peningkatan performa sistem MFC. Sistem *Stack* MFC merupakan salah satu cara untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya. Seperti yang diungkapkan Kristin (2012:9) *Stack* MFC merupakan rangkaian dari beberapa unit MFC baik *dual chamber* maupun *single chamber* yang dirangkai seri, paralel maupun campuran (seri-paralel), tujuannya adalah untuk meningkatkan kapasitas daya yang diproduksi.

Teknologi pemanfaatan limbah ini sangat berpotensi untuk terus dikembangkan, karena menggunakan sumber alam serta ramah lingkungan sehingga dirasa sangat perlu untuk

dikenalkan sejak dini kepada para generasi penerus, dalam hal ini adalah para siswa sekolah. Salah satu cara adalah dengan menggunakan MFC dalam pembelajaran fisika. Dari hasil wawancara kepada guru fisika di SMA Muhammadiyah 4 Kota Bengkulu diketahui bahwa nilai rata-rata ujian fisika kelas X pada sekolah tersebut masih tergolong rendah. Berdasarkan kenyataan tersebut, perlu diterapkan suatu model pembelajaran yang sesuai dan mampu meningkatkan hasil belajar fisika siswa.

Salah satu model pembelajaran yang memungkinkan mengembangkan keterampilan berpikir, kemandirian dan percaya diri siswa adalah model *Problem Based learning* (PBL). Berdasarkan hasil penelitian Rosmiati (2015) terdapat perbedaan hasil belajar antara siswa yang diajarkan menggunakan model PBL dengan siswa yang diajarkan menggunakan pembelajaran konvensional di kelas X SMAN 1 Kota Bengkulu. Penelitian mengenai pembelajaran menggunakan model PBL juga dilakukan oleh Suherianti *et al* (2018) dan didapatkan bahwa hasil belajar kognitif peserta didik mengalami peningkatan nilai rata-rata ketika menggunakan model *Problem Based Learning* (PBL). Menurut Arends dalam Tampubolon dan Hambali (2014), model PBL guru membawa masalah kehidupan nyata yang dekat dengan kehidupan siswa ke dalam pembelajaran. Hal ini membuat siswa tertantang untuk mencari solusi pemecahan masalah yang mereka hadapi tersebut. Sehingga pada akhirnya akan berpengaruh baik pada peningkatan pemahaman materi dan kemampuan berpikir ilmiah siswa dan siswa dapat menerapkan konsep yang telah diperolehnya selama proses pembelajaran.

Krisis energi listrik merupakan salah satu permasalahan nyata yang dekat dengan kehidupan siswa. Salah satu dampak dari krisis energi listrik yang ikut dirasakan para siswa adalah dengan adanya pemadaman listrik secara bergiliran. Dengan mengorientasi siswa pada masalah tersebut pada awal pembelajaran model PBL diharapkan dapat meningkatkan motivasi siswa untuk belajar dan menemukan solusi dari masalah tersebut. Tidak hanya mengatasi krisis energi listrik tetapi juga mengatasi permasalahan

limbah yaitu dengan memanfaatkan limbah rumen sapi menjadi substrat MFC untuk menghasilkan energi listrik.

METODE PENELITIAN

Penelitian Sains

Desain penelitian adalah eksperimen dengan tahapan sebagai berikut:

Persiapan alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 1. Alat yang digunakan

No.	Alat
1	Reaktor MFC terdiri atas : -Toples plastik -Pipa U
2	Multimeter Digital
3	Amperemeter analog
4	Kabel dan Jepit buaya
5	Resistor 1 Ω dengan toleransi + 5%
6	Timbangan analitik
7	Gelas beaker
8	Gelas ukur
9	Spatula kaca
10	Pipet Ukur
11	Pipet tetes
12	Jangka sorong

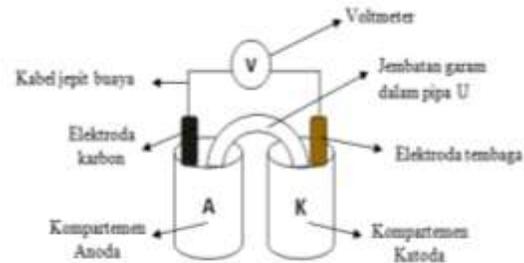
Tabel 2. Bahan yang digunakan

No.	Alat	Jumlah
1	Batang karbon	12 Buah
2	Elektroda tembaga	12 Buah
3	Agar-agar	1 Bungkus
4	Garam dapur	1 Sendok
5	Aquadest	0,5 Liter
6	KMNO ₄ 0,2 M	4,8 liter
7	Amplas	1 Lembar
8	Aluminium foil	1 Gulung

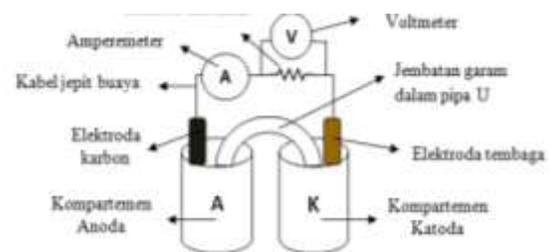
Membuat dan Menyusun Rangkaian Sistem Stack MFC

Jenis rangkaian pada penelitian ini berupa *Dual Chamber* MFC yang merujuk pada penelitian Hermawan, *et al* (2014). Masing-masing kompartemen bervolume 400 ml. Katoda

(katolit) pada setiap sistem adalah larutan KMNO₄ 0,2 M sedangkan Anoda (anolit) adalah limbah cair rumen sapi. Rangkaian tunggal *dual chamber* MFC digambarkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Rangkaian tunggal *dual chamber* MFC untuk mengukur GGL



Gambar 2. Rangkaian tunggal *dual chamber* MFC untuk mengukur GGL

Tiga buah rangkaian tunggal *dual chamber* MFC dengan masing-masing kompartemen bervolume 400 ml akan dirangkai dengan variasi sebagai berikut:

- 1) Rangkaian Seri
- 2) Rangkaian Paralel
- 3) Rangkaian Campuran Tipe 1
- 4) Rangkaian Campuran Tipe 2

Sampel

Sampel limbah rumen sapi diambil dari Rumah Potong Hewan (RPH) milik Pemerintah Kota Bengkulu yang berlokasi di Kelurahan Padang Serai Kota Bengkulu

Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengukuran yang dilakukan setiap dua jam selama 96 jam dengan dua kali pengukuran yaitu pengukuran Gaya Gerak Listrik (GGL) dan mengukur beda potensial (V) dan kuat arus listrik (I).

Teknik Analisa Data

Analisa data pada penelitian ini terdiri atas: (1) Analisis Perbedaan GGL dan (2) Analisis Perbedaan Daya Listrik per satuan luas Anoda. Menurut Kim (2009) jumlah luas permukaan anoda tersedia bagi mikroba untuk tumbuh dapat mempengaruhi jumlah daya yang dihasilkan. Banyak peneliti menggunakan luas permukaan anoda untuk menghitung daya persatuan luas dihitung dengan persamaan :

$$P_A = \frac{(V_{MFC})^2}{R_{ext} A_{An}}$$

R_{eks} sebesar 1 Ω toleransi 5% dan A_{an} sebesar 15,46 10⁻⁴ m²

Penelitian Pendidikan

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *one group pretest-posttest design* untuk dua kelas eksperimen. Disain penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Desain Penelitian Pendidikan

Kelas	Pretest	Perlakuan	Posttest
Kelas eksperimen 1	O ₁	X ₁	O ₂
Kelas Eksperimen 2	O ₃	X ₂	O ₄

Keterangan :

X₁ = Model pembelajaran PBL menggunakan media MFC

X₂ = Model pembelajaran PBL menggunakan media kit listrik

O₁ = skor *pretest* untuk kelas eksperimen 1

O₂ = skor *posttest* untuk kelas eksperimen 1

O₃ = skor *pretest* untuk kelas eksperimen 2

O₄ = skor *posttest* untuk kelas eksperimen 2

O₁ = O₃ (Penelitian dapat dilakukan jika Skor *pretest* antara Kelas eksperimen 1 dan kelas eksperimen 2 tidak berbeda secara signifikan).

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas X SMA Muhammadiyah 4 Kota Bengkulu semester II tahun ajaran 2015/2016 yang berjumlah 5 kelas. Sampel yang dipilih secara *purposive* pada penelitian ini adalah kelas X.1 dan X Unggul 2.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah tes. Tes dilaksanakan dua kali dalam satu kali pertemuan yaitu *pretest* (tes awal) dan *posttest* (tes akhir).

Teknik Analisis Data

Pengolahan dan analisis data yang dilakukan meliputi analisis deskriptif, analisis inferensial dan pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis menggunakan Uji-t Dua Sampel Independen dikarenakan n₁ ≠ n₂ dan varian homogen. Menurut Sugiyono (2009), rumus uji-t dengan *pooled varian* untuk dua sampel independen sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Keterangan :

t = Nilai t hitung

\bar{X}_1 = Rata-rata skor kelompok 1

\bar{X}_2 = Rata-rata skor kelompok 2

n₁ = Jumlah sampel kelompok 1

n₂ = Jumlah sampel kelompok 2

S₁² = Varian kelompok 1

S₂² = Varian kelompok 2

Jika harga t_{hitung} > t_{tabel} pada taraf signifikan 95% dan derajat kebebasan (dk) = n₁ + n₂ - 2, maka terdapat perbedaan yang signifikan. Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Exel 2007* dengan taraf signifikan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

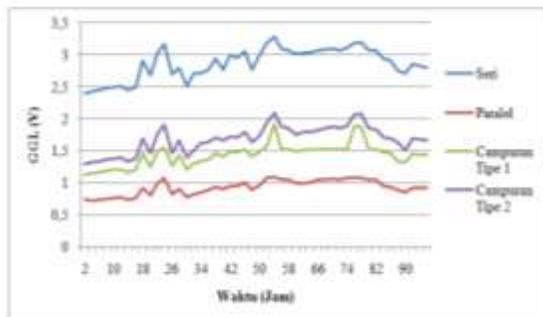
Pengukuran dan Perbandingan GGL pada Rangkaian MFC

Besar GGL diperoleh setelah menghubungkan secara langsung multimeter dengan kedua kabel baik dari anoda maupun katoda tanpa menggunakan resistor eksternal, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dokumentasi Pengukuran GGL Pada Rangkaian MFC

Pengukuran dilakukan setiap 2 jam selama 96 jam (4 hari). Grafik hasil pengukuran GGL pada setiap rangkaian MFC dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengukuran GGL Pada Rangkaian MFC

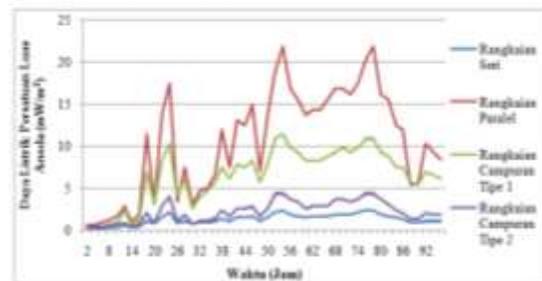
Berdasarkan hasil pengukuran Nilai GGL berfluktuasi di tiap waktu pengukuran. Hal ini terkait pula dengan aktivitas metabolisme mikroba yang terdapat pada limbah cair. Dalam aktivitas katabolisme, sejumlah energi dihasilkan saat senyawa kompleks dipecah menjadi senyawa sederhana. Sebaliknya, sejumlah energi digunakan saat senyawa sederhana disintesis menjadi senyawa kompleks. Kedua jenis metabolisme ini terjadi secara simultan. Pada waktu tertentu secara

umum selisih dari total energi yang dihasilkan dan yang digunakan dapat meningkat atau menurun, bergantung pada reaksi yang berlangsung.

Rangkaian seri memiliki nilai GGL terbesar karena besar GGL total merupakan jumlah dari semua GGL dari masing-masing rangkaian tunggal *dual chamber* MFC. Sebaliknya pada rangkaian paralel nilai GGL total sama dengan nilai GGL dari satu rangkaian tunggal MFC sehingga nilai GGL terkecil diperoleh pada rangkaian paralel. Pada rangkaian campuran tipe 2 terdapat dua rangkaian tunggal yang diparalelkan lalu diseriikan dengan satu rangkaian tunggal lainnya. Nilai GGL yang dihasilkan pada rangkaian campuran tipe 2 sama dengan jumlah 2 rangkaian tunggal MFC. Sedangkan pada rangkaian campuran tipe 1. Terdapat dua rangkaian tunggal yang diseriikan lalu diparalelkan dengan satu rangkaian tunggal lainnya. Nilai GGL pada rangkaian campuran tipe 1 sama dengan 1,5 kali dari rangkaian tunggal MFC. Sehingga perbandingan besar GGL yang dihasilkan antara disain rangkaian MFC tipe seri, paralel, campuran tipe 1 dan campuran tipe 2 adalah 3 : 1 : 1,5 : 2 yang mana besar GGL maksimum diperoleh pada rangkaian seri sebesar 3,29 V.

Perbandingan Daya Listrik Per Satuan Luas Anoda

Hasil perhitungan daya listrik per satuan luas permukaan anoda disajikan dalam bentuk grafik yang tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hasil Perhitungan Daya Listrik Per Satuan Luas Permukaan Anoda Pada Rangkaian MFC

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa nilai daya listrik per satuan luas anoda

maksimum diperoleh pada rangkaian paralel sebesar 21,76 mW/m² sedangkan nilai minimum diperoleh pada rangkaian seri sebesar 0,06 mW/m².

Terdapat perbedaan besar daya listrik per satuan luas permukaan anoda (Pa) yang dihasilkan antara disain rangkaian MFC tipe seri, paralel, campuran tipe 1 dan campuran tipe 2 dengan perbandingan 1 : 10 : 6 : 2.

Penelitian pendidikan

Penelitian dilakukan untuk melihat ada tidaknya perbedaan hasil belajar kognitif siswa antara kelas eksperimen 1 dan kelas eksperimen 2. Data yang akan diuji hipotesis adalah rata-rata skor *posttest* siswa yang mendapat pembelajaran model PBL menggunakan media MFC (kelas eksperimen 1) dan siswa yang mendapat pembelajaran model PBL dengan menggunakan media kit listrik (kelas eksperimen 2).

Data rata-rata skor *posttest* siswa pada kelas eksperimen 1 dan kelas eksperimen 2 telah diketahui berdistribusi normal dan memiliki varian yang homogen, sehingga dapat dilakukan statistik parametris, selanjutnya dilakukan uji hipotesis rata-rata *posttest* siswa dengan melakukan uji-t dua sampel independen. Sebelum perhitungan perbedaan rata-rata skor *posttest* dilakukan terlebih dahulu dilakukan perhitungan perbedaan rata-rata kemampuan awal siswa. Kemampuan awal siswa sebelum mengikuti pembelajaran diukur dengan menggunakan rata-rata skor *pretest*. Tabel 4 berikut ini merupakan hasil analisis uji-t dua sampel independen.

Tabel 4 Hasil Uji-t Hasil Belajar Kognitif

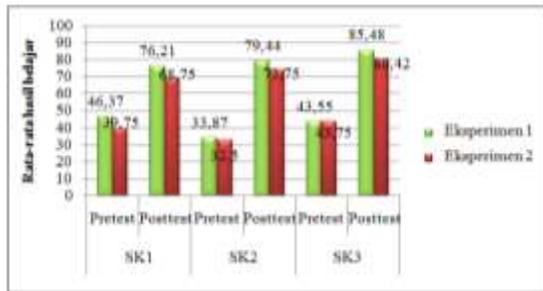
Hasil	Kelas	N	t _{hitung}	t _{tabel}	Kesimpulan
<i>Pretest</i>	Eksperimen 1	31	0,946	2,001	Tidak Berbeda Signifikan
	Eksperimen 2	30			
<i>Posttest</i>	Eksperimen 1	31	2,739	2,001	Berbeda Signifikan
	Eksperimen 2	30			

Berdasarkan hasil *pretest* yang didukung oleh uji perbedaan rata-rata antara *pretest* kelas eksperimen 1 dan eksperimen 2, menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kemampuan awal kedua kelas yang mana t_{hitung} 0,946 < t_{tabel} 2,001 untuk taraf signifikan

95%. Pengujian perbedaan rata-rata rata-rata skor *posttest* dengan uji-t dua sampel independen menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil belajar siswa kedua kelas yang mana diperoleh t_{hitung} 2,739 > t_{tabel} 2,001 untuk taraf signifikan 95%. Kelas eksperimen 1 yang menggunakan media MFC mempunyai rata-rata skor *posttest* yang lebih tinggi dibandingkan kelas eksperimen 2 yang menggunakan media Kit Listrik. Skor t_{hitung} ini jatuh pada daerah penolakan hipotesis nol (H₀). Dengan demikian dapat disimpulkan, kelas eksperimen 1 yang mengikuti pembelajaran dengan model PBL menggunakan media MFC memiliki hasil belajar yang lebih tinggi dibandingkan kelas eksperimen 2 yang mengikuti pembelajaran model PBL menggunakan media Kit Listrik.

Hal ini disebabkan karena media MFC membawa masalah kehidupan yang lebih nyata dibandingkan dengan media Kit Listrik. Rangkaian MFC menggali rasa ingin tahu siswa akan kemampuan limbah dalam menghasilkan listrik dimana selama ini mereka hanya mengetahui bahwa listrik diolah oleh PLN dengan sumber tenaga diperoleh dari batu bara, minyak bumi, ataupun dari PLTA yang pembuatannya membutuhkan dana dan waktu yang lama.

Pada pertemuan pertama, rasa ingin tahu siswa langsung dibangkitkan dengan timbulnya bau dari limbah rumen sapi. Para siswa kebingungan melihat rangkaian yang ada didepannya dengan rasa ingin tahu dari manakah bau itu berasal. Saat proses pembelajaran sub konsep besaran listrik dan hukum ohm, para siswa dikelas eksperimen 1 lebih memahami aliran elektron dari kutub negatif ke kutub positif yang tak lain adalah kuat arus listrik. Berbeda dengan siswa kelas eksperimen 2 yang kesulitan memahami aliran arus listrik karena resistor harus diletakkan dipapan rangkaian, sedangkan pada kelas eksperimen 1, kabel langsung dihubungkan melalui kabel tanpa perlu menggunakan jembatan penghubung seperti pada kit listrik. Hal ini nampak pada rendahnya skor rata-rata *posttest* kelas eksperimen 2 dibandingkan dengan kelas eksperimen 1 seperti yang nampak pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Rata-rata skor Hasil Belajar Untuk Setiap Subkonsep Antara Kelas Eksperimen 1 dan 2

Keterangan:

SK₁= besaran listrik dan hukum ohm; SK₂= susunan hambatan dan hukum kirchoff; SK₃= penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari

Pada pertemuan kedua mengenai susunan rangkaian hambatan dan hukum kirchhoof. Skor rata-rata *pretest* pada kedua kelas mengalami penurunan karena disebabkan oleh kerumitan materi susunan resistor, dimana pada pertemuan sebelumnya hanya menggunakan 1 resistor. Pada pertemuan ini kelas eksperimen 1 yang menggunakan rangkaian MFC kembali dimudahkan pada pemahaman dalam mengukur kuat arus dan tegangan. Amperemeter harus terpasang seri dengan resistor saat mengukur kuat arus listrik, dan sebaliknya voltmeter harus terpasang paralel. Pada kelas eksperimen 2 siswa kesulitan dalam menentukan titik manakah mereka harus mencolokkan kabel. Hal ini nampak kembali pada skor *posttest* siswa kelas eksperimen 1 yang lebih tinggi dibandingkan kelas eksperimen 2.

Pertemuan ketiga membahas konsep penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari. Pada kelas eksperimen 2 listrik DC dicontohkan dengan baterai sedangkan pada kelas eksperimen 1, listrik DC dicontohkan dengan baterai dan rangkaian MFC. Siswa pada kelas eksperimen 2 yang menggunakan rangkaian MFC dapat membedakan antara baterai dan MFC, walaupun keduanya merupakan sumber listrik DC tetapi kutub positif dan negatifnya berbeda. Anoda dan Katodanya pun berbeda. Sedangkan kelas eksperimen 2 hanya dapat mempelajari tentang prinsip kerja

dari baterai. Penggunaan media MFC sebagai media pembelajaran konsep listrik dinamis terbukti dapat meningkatkan hasil belajar kognitif siswa. Hal ini dikarenakan media MFC memudahkan siswa dalam memahami susunan rangkaian listrik, aliran arus listrik, dan memahami cara merangkai resistor ataupun alat ukur listrik secara seri dan paralel.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan besar Gaya Gerak Listrik (GGL) yang dihasilkan antara disain rangkaian MFC tipe seri, paralel, campuran tipe 1 dan campuran tipe 2 dengan perbandingan 3 : 1 : 1,5 : 2 yang mana besar GGL maksimum diperoleh pada rangkaian seri sebesar 3,29 V. selain itu juga terdapat perbedaan besar daya listrik per satuan luas permukaan anoda (Pa) yang dihasilkan antara disain rangkaian MFC tipe seri, paralel, campuran tipe 1 dan campuran tipe 2 dengan perbandingan 1 : 10 : 6 : 2 yang mana besar Pa maksimum dihasilkan pada rangkaian paralel sebesar 21,76 mW/m². Terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara pembelajaran model PBL menggunakan media MFC dengan pembelajaran model PBL menggunakan media kit listrik pada konsep listrik dinamis di SMA Muhammadiyah 4 Kota Bengkulu dengan hasil analisis uji-t dua sampel independen dari skor rata-rata *posttest* diperoleh $t_{hitung} 2,739 > t_{tabel} 2,001$ untuk taraf signifikan 95% .

DAFTAR PUSTAKA

- Hermawan, K.V., Djaenudin dan M. Rangga Sururi. 2014. Pengolahan air limbah industri tahu menggunakan sistem double chamber microbial fuel cell. Bandung: *Jurnal Online ITENAS*. No.1, Vol. 2.
- Kim, M.H. 2009. *An Analysis of Anaerobic Dual-Anode Chambered Microbial Fuel Cell (MFC) Performance*. [Tesis]. Knoxville: Universitas Tennessee.
- Kristin, E. 2012. *Produksi Energi Listrik melalui Microbial Fuel Cell menggunakan*

- limbah industri tempe*. [Skripsi]. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Rosmiati. 2015. *Pengaruh Komposisi Serat Pinang Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanisme Papan Gypsum Dan Implementasinya Pada Uji Beda Hasil Belajar Model Problem Based Learning Dengan Model Konvensional Kelas X SMAN 1 Kota Bengkulu*. [Tesis]. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Sitorus, B. 2010. Diversifikasi sumber energi terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba. *Jurnal ELKHA*, 2(1).
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Suherianti, S., Mayub, A., & Farid, M. 2018. Potensi Rawan Banjir Kecamatan Muara Bangkahulu Sebagai Penunjang Pembelajaran Materi Pemanasan Global Di SMPN 11 Kota Bengkulu. *Pendipa Journal Of Science Education*, 2(1).
- Tampubolon, T. dan Taufik Hambali. 2014. Pengaruh model pembelajaran *Problem Based Learning* terhadap hasil belajar siswa pada materi pokok listrik dinamis kelas X MAS 'Iadurrahman Stabat. Medan: *Jurnal Inpafi*. 2(3).
- Zhang, Y. 2012. *Energy recovery from waste streams with microbial fuel cell (MFC)-based technologies*. [Tesis]. Denmark: Universitas Teknik Denmark.