

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) Sebagai Media Pembelajaran Siswa SMP/MTs Topik Perubahan Energi.

Pada penelitian ini dihasilkan produk berupa KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) Sebagai Media Pembelajaran Siswa SMP/MTs Topik Perubahan Energi. Produk dikemas dalam sebuah *box* yang berisi 6 botol 600ml + PEM, 6 botol 36ml + PEM, 12 elektroda batang, kompor listrik, timbangan digital, multimeter, gelas kimia 100ml, kabel, caput buaya, pipet, agar-agar, garam, kartu pengamatan, tissue, dan buku petunjuk yang berguna untuk menuntun siswa melakukan praktikum *Microbial Fuel Cells* (MFCs). KIT (Komponen Instrumen Terpadu) ini digunakan untuk membantu dan mempermudah pembelajaran di dalam kelas dengan melibatkan ketrampilan dan keaktifan siswa.

Merujuk pada empat unsur hakikat IPA yang terdapat dalam KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) meliputi:

- a. Proses: KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) merupakan sebuah metode ilmiah yang dapat memecahkan masalah yang terdiri dari penyusunan hipotesis, perancangan eksperimen, evaluasi, pengukuran dan penarikan kesimpulan.
- b. Sikap: sikap yang didasari siswa selama proses mendapatkan suatu pengetahuan melalui KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs), sikap tersebut terdiri dari rasa ingin tahu tentang benda, fenomena alam, makhluk hidup, serta hubungan sebab akibat yang menimbulkan masalah baru yang dapat dipecahkan melalui prosedur yang benar bersifat *open minded*.
- c. Produk: produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) meliputi sebuah fakta, prinsip, teori dan hukum.
- d. Aplikasi: penerapan metode ilmiah dan konsep IPA dalam kehidupan sehari – hari. KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) menerapkan konsep IPA yang telah didapatkan dalam proses menggunakan metode ilmiah, selanjutnya dapat

digunakan dalam pembelajaran dan kehidupan untuk kemsalahatan manusia.

Pada penelitian ini menghasilkan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) sebagai media pembelajaran siswa SMP/MTs pada topik perubahan energi dengan spesifikasi antara lain:

1. Karakteristik Fisik KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

a. Katalog Produk KIT

KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) ini adalah kumpulan instrumen terpadu yang dirancang khusus sebagai media pembelajaran IPA pada topik perubahan energi. KIT ini juga dirancang sesuai dengan konsep pembelajaran IPA untuk memudahkan guru dalam menyampaikan pembelajaran dan untuk memudahkan siswa dalam memahami materi pelajaran IPA topik perubahan energi secara konkret (nyata). Selain itu juga dalam *box* KIT ini terdapat alat sekaligus bahan yang lengkap, pendidik/guru dan siswa dapat langsung melakukan praktikum dengan alat dan bahan yang telah disediakan di dalam *box* KIT. Terdapat tabel pengamatan dalam buku petunjuk untuk siswa mencatat dan mengamati hasil saat melakukan praktikum *Microbial Fuel Cells* (MFCs).

Tabel 4.1 Katalog Produk KIT

No	Komponen KIT	Spesifikasi
1	Box KIT 	Box KIT yang dipakai terbuat dari bahan dasar plastik yang ringan dan kokoh, yang memiliki ukuran panjang 28 cm, lebar 20 cm dan tinggi 17 cm. Pada bagian luar terdapat stiker spesifikasi dan kelengkapan KIT.
2	Botol Tabung	Botol tabung yang disediakan terbuat dari bahan plastik berwarna bening transparan dan dalam 1 box ada 2 ukuran tabung,

No	Komponen KIT	Spesifikasi
		<p>ukuran 600ml dan 36ml. Ukuran 600ml memiliki tinggi 10.3cm dan diameter 8.8cm. Ukuran 36ml memiliki tinggi...cm dan diameter ...cm</p>
3	<p style="text-align: center;">PEM</p> 	<p><i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM)/jembatan garam ini terbuat dari selang aquarium dan conectornya dan keduanya terbuat dari plastik Dalam 1 box terdapat 2 PEM diperuntukan tabung ukuran 600ml dan 36ml Panjang PEM untuk tabug 600ml adalah 8cm×5cm, sedangkan PEM untuk tabung 36ml adalah 5cm×3cm.</p>
4	<p style="text-align: center;">Kabel</p> 	<p>Ada 2 ukuran kabel dalam 1 box KIT, kabel dengan panjang 24cm untuk tabung berukuran 600ml, sedangkan kabel dengan panjang 15cm untuk tabung berukuran 36ml.</p>
5	<p style="text-align: center;">Elektroda</p> 	<p>Elektroda yang digunakan untuk KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) ini adalah elektroda batang Masing-masing ukuran tabung memiliki ukuran elektroda batang yang berbeda, untuk tabung 600ml elektroda batangnya</p>

No	Komponen KIT	Spesifikasi
		berdiameter 10mm dengan panjang 5cm, sedangkan untuk tabung ukuran 36ml batang elektrodanya berdiameter 4mm dengan panjang 47mm.
6	<p data-bbox="369 423 553 453">Kompor Listrik</p> 	Kompor listrik yang dipakai merupakan kompor dengan 1 tungku dengan diameter tungkunya adalah 10.5cm. Tegangan dari kompor listrik ini 220-240V dan body kompor 14cm×14cm×6cm.
7	<p data-bbox="350 743 573 772">Timbangan Digital</p> 	Spesifikasi timbangan yang dipakai untuk KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) adalah: Kapasitas: 200gr Akurasi: 0.1gr Warna: silver Ukuran: 4.72cm×2.36cm×0.78cm Bahan: Stainless
8	<p data-bbox="345 1060 578 1090">Gelas Kimia 100ml</p> 	Gelas kimia yang digunakan dalam KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) adalah gelas kimia yang berukuran 100ml, gelas kimia ini terbuat dari kaca borosilikat yang tahan panas hingga 200°C.
9	<p data-bbox="389 1416 533 1446">Capit Buaya</p>	Tabung dengan ukuran 600ml dan 36ml menggunakan ukuran capit buaya yang sama yaitu 3.5cm, dalam 1 box terdapat

No	Komponen KIT	Spesifikasi
		12 capit buaya.
10	Pipet 	Pipet yang digunakan adalah pipet dengan bahan baku plastik bening trasnparan yang elastis dan ringan untuk digunakan.
11	Agar-Agar 	Dalam <i>box</i> KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) terdapat bahan agar-agar powder dengan berat 7gr.
12	Garam 	Garam digunakan adalah garam beryodium, yang nantinya untuk campuran bahan jembatan garam.
13	Buku Panduan	Terdapat buku panduan yang terbuat dari kertas HVS berukuran A5 yang dicetak <i>full color</i> .

b. Fungsi Bagian-Bagian Produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs).

Setiap bagian produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) memiliki fungsinya masing-masing dalam praktikum nantinya. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai satu persatu dari bagian KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs), disertai dengan alasan yang mendasar mengenai pemilihan alat dan bahan dalam perancang KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs).

Tabel 4.2 Fungsi Bagian-Bagian KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

No	Komponen KIT		Alasan
1	Alat	Box KIT	Pemilihan box berbahan dasar plastik dikarenakan melihat dari sisi kepraktisan, bahan dasar plastik akan lebih ringan, mudah dipindahkan, mudah dibawa dan layak digunakan dalam jangka waktu yang lama.
		Botol Tabung	Dalam 1 rangkaian KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) menggunakan 2 tabung yang akan dijadikan sebagai ruang anoda dan ruang katoda. Botol tabung yang digunakan juga berbahan plastik yang ringan dan mudah dipindahkan, penggunaan plastik juga lebih awet dari pada bahan kaca yang rentan pecah dari guncangan.
		<i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM)	<i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM) atau yang sering disebut jembatan garam berfungsi untuk mentransfers atau memindahkan proton yang dihasilkan

No	Komponen KIT	Alasan
		metabolisme bakteri dari ruang anoda ke katoda. ¹ Bahan baku yang dipakai untuk PEM/jembatan garam adalah plastik, terbuat dari selang dan <i>conector</i> aquarium agar mudah dirangkai.
	Elektroda	Fungsi elektroda dalam KIT Microbial Fuel Cells (MFCs) adalah untuk mengalirkan elektron melalui sirkuit luar (kabel) menuju katoda dan menimbulkan aliran listrik ² . Material yang digunakan sebagai elektroda adalah material berbasis karbon batang, karena sifat konduktivitasnya tinggi, stabil, strukturnya kuat.
	Kompor Listrik	Disediakan kompor listrik bertujuan untuk memudahkan preparasi bahan KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs).
	Timbangan Digital	Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang diperlukan untuk praktikum KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) agar lebih spesifik.
	Multimeter	Multimeter digunakan untuk mengukur laju tegangan listrik yang dihasilkan KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs).
	Gelas kimia	Gelas kimia berfungsi menjadi wadah untuk mencampur dan

¹ Nurul Ulfia, Ganjar Samudro, “Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Larutan Garam Dalam Jembatan Garam Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMFCs).”

² Dessy Rosita Sari, “Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan Microbial Fuel Cells (MFCs),” 2017.

No	Komponen KIT		Alasan
			memproses bahan-bahan yang digunakan untuk jembatan garam.
		Pipet	Pipet diperuntukan untuk memasukkan bahan-bahan yang telah diproses ke dalam PEM/jembatan garam. Alasan memilih pipet berbahan plastik adalah agar lebih ringan digunakan dan awet.
		Buku Panduan	Buku panduan berfungsi untuk memandu siswa atau guru untuk melakukan <i>step by step</i> praktikum KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs). Pencetakan buku panduan dibuat <i>full color</i> agar terlihat lebih menarik.
2.	Bahan	Agar-Agar	Agar-agar dibutuhkan untuk pembuatan bahan jembatan garam
		Garam	Garam menjadi campuran agar-agar sebagai bahan jembatan garam.

2. Karakteristik Materi KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

Produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) disusun berdasarkan topik perubahan energi yaitu pada kompetensi dasar 3.5 Menerapkan konsep rangkaian listrik, sumber energi listrik dalam kehidupan sehari-hari termasuk sumber energi listrik alternatif, serta berbagai upaya menghemat energi listrik, dan kompetensi dasar 4.5 Menyajikan hasil rancangan dan pengukuran berbagai rangkaian listrik, yang ditujukan pada siswa SMP/MTs kelas IX semester 1. KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dibuat berdasarkan sintak model pembelajaran *Discovery Learning*.

B. Optimasi Desain KIT Microbial Fuel Cells (MFCs) Sebagai Media Pembelajaran Siswa SMP/MTs Topik Perubahan Energi.

Optimasi desain adalah proses mengoptimalkan rancangan untuk mencapai hasil produk yang ideal (nilai efektif yang dicapai)³. Penelitian ini menghasilkan produk berupa KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) sebagai media pembelajaran siswa SMP/MTs topik perubahan energi. Adapun tahapan-tahapan optimasi desain dalam penelitian ini dijabarkan dalam penjelasan berikut:

1. Tahap 1 Pendefinisian (Define)

Pada tahap ini dilakukan kajian pustaka mengenai kebutuhan siswa, meliputi analisis awal, analisis siswa, analisis konsep, analisis tugas, dan perumusan tujuan pembelajaran. Pada tahap 1 ini desain KIT masih berupa rancangan awal. Tahap-tahap dalam merancang dan mengembangkan produk diperlukan beberapa proses perancangan. Langkah pertama yang penting dalam merancang desain produk adalah tujuan perancangan produk. Tujuan perancangan produk harus jelas karena akan mempengaruhi hasil dari setiap langkah hingga hasil akhir yang diharapkan.

Tabel 4.3 Optimasi Tahap 1

No	Tahapan	Penjelasan
1	Analisis awal	Dilatarbelakangi dari hasil observasi ke sekolah dimana terlihat jarang sekali guru yang menggunakan alat peraga dan KIT dalam menyampaikan materi pelajaran, akan tetapi guru hanya menggunakan metode ceramah sehingga siswa tidak menyerap materi pelajaran yang disampaikan secara optimal dan

³ Simponi, “Optimasi Desain KIT Simponi Berbasis Etnosains Proses Produksi Garam Tradisional Yang Berorientasi Pada Literasi Ilmiah Untuk Siswa SMP/MTs Skripsi.”

No	Tahapan	Penjelasan
		<p>siswa akan merasa jenuh dan bosan saat pembelajaran berlangsung⁴. Serta melandasi pemerintah yang melakukan perubahan inovasi kurikulum dan pembelajaran yang mengarahkan siswa untuk aktif serta mengespresikan kemampuannya dalam pembelajaran⁵.</p> <p>Pembelajaran yang menekankan siswa untuk berperan aktif salah satunya yaitu Ilmu Pengetahuan Alam atau <i>Sains</i>. IPA berkaitan erat dengan cara mencari tahu tentang alam dan menghubungkannya dengan fakta-fakta serta konsep-konsep yang empiris di lapangan.</p>
2	Analisis siswa	<p>Pada usia siswa SMP/MTs akan lebih mudah untuk memahami materi pembelajaran menggunakan media yang konkret atau nyata. Penyusunan KIT ini bertujuan agar siswa mudah dalam memahami materi pada topik perubahan energi.</p>
3	Analisis tugas	<p>Penggunaan media pembelajaran didalam kelas yang diimplementasikan harus sesuai dengan KD yang ingin dicapai. Maka dari itu media KIT ini diperlukan dalam pembelajaran mengingat masih banyak kegiatan pembelajaran</p>

⁴ Erwinsyah Satria, "Penggunaan Alat Peraga Dan Kit IPA Oleh Guru Dalam Pembelajaran Di Beberapa Sekolah Dasar Di Kecamatan Padangng Utara Dan Nanggalo Kota Padang."

⁵ Simponi, "Optimasi Desain KIT Simponi Berbasis Etnosains Proses Produksi Garam Tradisional Yang Berorientasi Pada Literasi Ilmiah Untuk Siswa SMP/MTs Skripsi."

No	Tahapan	Penjelasan
		yang hanya menggunakan metode ceramah ⁶ .
4	Analisis konsep	Diperlukan pemahaman mengenai aspek <i>microbial fuel cells</i> yang dikolaborasikan dengan KIT IPA dan menjadi media pembelajaran siswa SMP/MTs pada topik perubahan energi.
5	Perumusan tujuan pembelajaran	Mengoptimasi desain KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) untuk memfasilitasi gaya pembelajaran guru agar lebih efektif, menarik dan inovatif. Siswa juga akan lebih mudah memahami materi yang diberikan ketika pembelajaran difasilitasi dengan KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) terutama pada materi topik perubahan energi.

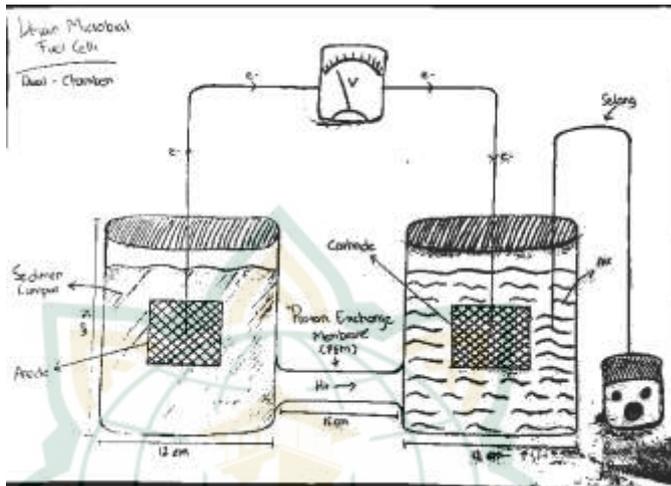
2. Tahap 2 Perencanaan (Design)

a. Produk Awal

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, pada tahap 2 ini adalah membuat rancangan produk berupa desain awal, rancangan awal produk, penyusunan parameter penelitian berupa angket validasi ahli media dan ahli materi, angket respon guru. Uji validasi dilakukan untuk menguji kelayakan produk yang dibuat dan akan dikembangkan. Kemudian uji responden berisi pertanyaan tertulis untuk memperoleh informasi dan penilaian dari beberapa responden bagaimana pendapat guru mengenai produk KIT yang telah dibuat dan sedang dikembangkan.

⁶ E R Onainor, “Analisis Desain KIT Multimedia Pembelajaran Tingkat Organisasi Sistem Organ Berbentuk Jaket Torso Multifungsi Untuk Memfasilitasi Gaya Belajar Siswa SMP/MTs Skripsi” 1 (2019): 105–112.

Gambar 4.1 Desain awal



Pada Gambar 4.1 adalah gambaran desain awal KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs). Gambar tersebut adalah gambaran *microbial fuel cells* model *dual-chamber*, yang mana *Proton Exchange Membrane* (PEM)/jembatan garamnya dihubungkan melalui bagian bawah kedua botol tabung yang direkatkan dengan lem, penggunaan elektroda dalam desain awal adalah menggunakan kawat berbentuk jaring yang dilipat membentuk persegi dan dikaitkan dengan kabel yang menuju langsung ke multimeter. Dalam ruang katoda ditambahkan selang dan pompa air guna memberikan gelembung yang menghasilkan guncangan dalam ruang katoda. Desain gambar tersebut digambar menggunakan pensil, penggaris, penghapus dan kertas HVS sebagai latar desainnya.

Setelah desain awal jadi lalu langkah selanjutnya yaitu membuat KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) sesuai desain yang sudah dibuat. Proses pembuatan KIT sebagai berikut:

- 1) Ambil 2 buah botol tabung lalu lubangi bagian bawah botol menggunakan solder

- 2) Potong pipa aquarium sesuai desain yang telah ditentukan
- 3) Pasang sambungan pipa ke lubang bawah botol tabung menggunakan lem.
- 4) Setelah lem kering lalu masukkan selang aquarium kedalam sambungan pipa yang tersedia.
- 5) Setelah bagian badan KIT jadi, lalu lubangi tutup botol tabung menggunakan solder dan masukkan kabel.
- 6) Buat elektrodanya menggunakan kawat jaring yang dilipat membentuk persegi lalu kaitkan dengan kabel.
- 7) Pasang penjepit buaya pada kabel disisi satunya.
- 8) Hasil KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) pada rancangan awal dapat dilihat di Gambar 4.2.

Gambar 4.2 Rancangan awal KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)



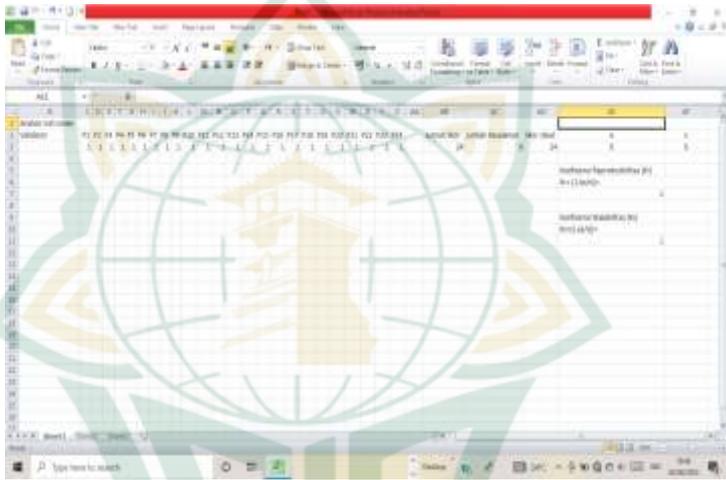
Pada gambar 4.2 merupakan gambar hasil rancangan awal KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) model *dual-chamber*. Desain awal tersebut akan dikonsultasikan kedosen pembimbing untuk memvalidasi apakah desain tersebut sesuai penelitian yang akan dilakukan.

b. Penyusunan Instrumen Validasi Ahli dan Respon Pendidik/Guru

Penyusunan instrumen digunakan untuk mengukur optimasi desain dengan 3 aspek dan indikator. Penyusunan instrumen menggunakan skala guttman dengan kategori pilihan jawaban “Ya” dan “Tidak”.

Setiap instrumen terdiri atas 24 pernyataan yang divalidasi ke dosen pembimbing untuk mengetahui apakah pernyataan yang termuat dalam instrumen layak dan valid. Analisis instrumen validasi menggunakan koefisien reproduksibilitas dan koefisien skalabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.3

Gambar 4.3 Hasil Analisis Instrumen



Gambar 4.3 menunjukkan hasil analisis instrumen validasi yang dilakukan perhitungan menggunakan Ms. Excell dan data dikatakan valid jika $Kr > 0.9$ dan $Ks > 0.9$. perhitungan Kr menggunakan rumus:

$$Kr = 1 - \frac{e}{n}$$

Hasil perhitungan pada lembar instrumen validasi adalah $Kr = 1 - \frac{0}{24} = 1$, karena $Kr > 0.9$ dianggap baik, maka $Kr = 1$ baik untuk digunakan dalam instrumen. Sedangkan Ks

$$Ks = 1 - \frac{e}{x}$$

Jumlah kesalahan yang dianggap (x) didapatkan dengan $= 0.5$ ((Jumlah pernyataan dikali jumlah responden)-jumlah jawaban “Ya”), yaitu $0.5((24 \times 1) - 24) = 0$. Dengan demikian $Ks = 1 - \frac{0}{0} = 1$, karena $Ks > 0.9$

dianggap baik, maka dapat disimpulkan dari hasil perhitungan valid digunakan sebagai instrumen validasi dan respon.

3. Tahap 3 Pengembangan (Develop).

Optimasi desain pada tahap ke 3 ini merupakan tahap desain akhir hasil revisi. Semua penilaian jenis kesalahan dan saran perbaikan sudah dilaksanakan. Berdasarkan hasil validasi diberikan saran ataupun masukan untuk perbaikan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs). Setelah produk awal dihasilkan, terdapat revisi pada KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yaitu:

a. Pembuatan Produk

- 1) Perubahan desain dan model KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang awalnya *Proton Exchange Membrane* (PEM)/jembatan garam diletakkan pada bagian bawah botol tabung kemudian dirubah *Proton Exchange Membrane* (PEM)/jembatan garamnya diletakkan melalui atas tutup botol. Elektroda yang awalnya pakai kawat jaring kemudian diganti dengan elektroda karbon batang. Hasil revisi KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) terdapat pada tabel 4.4

Tabel 4.4
Perubahan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

Sebelum Revisi	Sesudah Revisi
	
<p>Alasan perubahan: pada rencana awal desain KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) (a) <i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM)/jembatan garam diletakkan pada bagian bawah botol tabung kemudian dirubah <i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM)/jembatan garamnya diletakkan melalui atas tutup botol. Dikarenakan ketika <i>Proton Exchange Membrane</i></p>	

(PEM)/jembatan garam diletakkan pada bagian bawah botol rawan bocor dan cepat rusak. (b) Elektroda yang awalnya pakai kawat jaring kemudian diganti dengan elektroda karbon batang. Dikarenakan elektroda berbasis karbon memiliki sifat konduktivitas yang tinggi, stabil, strukturnya kuat, sifat permukaan yang sesuai untuk perkembangan biofilm dan luas permukaan yang memadai⁷.

- 2) Perubahan desain buku panduan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) pada model percetakan dan pemilihan gambar baghround. Buku panduan pada awalnya tidak dicetak bolak-balik namun satu arah, kemudian dirubah dengan percetakan bolak-balik. Gambar baghround pada awalnya terlalu tebal dan letaknya ditengah, kemudia dirubah dengan penempatan gambar baghround dipinggir dan ketebalan gambar dikurangi. Hasil revisi desain buku panduan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) terdapat pada tabel 4.4

Tabel 4.5 Perubahan Buku Panduan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

Sebelum Revisi	Sesudah Revisi
Alasan perubahan: (a) awalnya buku panduan dicetak satu arah, kemudian dirubah dengan cetak 2 arah/bolak-balik karena lebih mudah siswa untuk membaca dan menghemat kertas. (b) pemilihan gambar baghround yang awalnya terlalu tebal dan letaknya ditengah-tengah kemudian diganti dengan pengurangan ketebalan dan peletakan gambar baghround dipinggir kertas agar tidak menghalangi tulisan yang ada dibuku panduan.	

⁷ Kristin, “Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe.”

b. Validasi Ahli

1) Hasil Validasi Ahli Media

Validasi ahli media dilakukan dengan mengisi kuisioner penilaian produk yang terdiri dari 3 aspek dengan 14 indikator dan terdapat 24 butir pertanyaan, dengan ahli media yang merupakan dosen Jurusan Tadris IPA, Fakultas Tarbiyah IAIN Kudus. Pada tahapan validasi ahli media memberikan penilaian dan juga saran terkait pengembangan produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang dikembangkan peneliti. Data yang telah divalidasi oleh ahli media terdapat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Validasi Ahli Media

Validator	Aspek	Jumlah Skor	Presentase	Kriteria
Ahli Media 1	Desain Media	8	100%	Sangat tinggi
	Performa	8	100%	Sangat tinggi
	Teknis Media	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	
Ahli Media 2	Desain Media	8	100%	Sangat tinggi
	Performa	7	87%	Sangat tinggi
	Teknis Media	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		23	287%	
Ahli Media 3	Desain Media	8	100%	Sangat tinggi
	Performa	8	100%	Sangat tinggi
	Teknis Media	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	
Nilai Akhir		7.8	98%	Sangat tinggi

Berdasarkan tabel 4.6 diperoleh hasil validasi dari ahli media KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dengan hasil penilaian yaitu 95% dan sangat tinggi. Hal tersebut ditunjukkan dari kriteria media pembelajaran pada rentang nilai 81-100 termasuk dalam kategori sangat tinggi.

Tabel 4.7 Saran Dari Ahli Media

Validator	Saran Perbaikan
Ahli Media 1	Menambah atau memperjelas redaksi
Ahli Media 2	Mengganti motif dan memperjelas

Validator	Saran Perbaikan
	buku panduan dan kartu pengamatan
Ahli Media 3	Tambahkan sarung tangan plastik dan tisu basah untuk menjaga kebersihan dan sterilitas.

Pada tabel 4.7 merupakan hasil validasi dari ahli media dosen Jurusan Tadris IPA, Fakultas Tarbiyah IAIN Kudus. Berdasarkan tabel tersebut dari setiap validator memberi beberapa saran dan masukkan untuk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs).

2) Hasil Validasi Ahli Materi

Validasi ahli materi dilaksanakan dengan mengisi kuisisioner penilaian produk yang terdiri dari 3 aspek dengan 14 indikator dan terdapat 24 butir pertanyaan, dengan ahli materi yang merupakan dosen Jurusan Tadris IPA, Fakultas Tarbiyah IAIN Kudus dan Kaprodi Pendidikan Kimia, Fakultas MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang. Pada tahapan validasi ahli materi memberikan penilaian dan juga saran terkait pengembangan produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang dikembangkan peneliti. Data yang telah divalidasi oleh ahli materi terdapat pada tabel 4.8

Gambar 4.4 Proses Validasi Ahli Materi



Tabel 4.8 Hasil Validasi Ahli Materi

Validator	Aspek	Jumlah Skor	Presentase	Kriteria
Ahli Materi 1	Pembelajaran	8	100%	Sangat tinggi
	Isi Materi	8	100%	Sangat tinggi
	Topik Pembahasan	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	
Ahli Materi 2	Pembelajaran	8	100%	Sangat tinggi
	Isi Materi	8	100%	Sangat tinggi
	Topik Pembahasan	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	
Ahli Materi 3	Pembelajaran	8	100%	Sangat tinggi
	Isi Materi	8	100%	Sangat tinggi
	Topik Pembahasan	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	Sangat tinggi
Ahli Materi 4	Pembelajaran	6	75%	Tinggi
	Isi Materi	5	62%	Tinggi
	Topik Pembahasan	5	62%	Tinggi
Jumlah		16	199%	Tinggi
Nilai Akhir		7.3	91%	Sangat tinggi

Pada tabel 4.8 diperoleh hasil validasi materi mengenai KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dengan hasil penilaian dari aspek pembelajaran, isi materi, topik pembahasan mendapatkan hasil penilaian yaitu 91% dan sangat tinggi, semua validator ahli materi memberi nilai tinggi dan kelayakan pada KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang akan digunakan menjadi media pembelajaran pada topik perubahan energi

Tabel 4.9 Saran Dari Ahli Materi

Validator	Saran Perbaikan
Ahli Materi 1	Tambahkan pengertian mengenai <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) di buku panduan atau kartu pengamatan, perjelas fokus pengamatannya.
Ahli Materi 2	-
Ahli Materi 3	Tuliskan spesifikasi pada perubahan energi yang dimaksud, tambahkan alat dan bahan dibuku panduan.
Ahli Materi 4	Jembatan garam lebih baik menggunakan agar-agar berwarna bening, termometer ganti dengan thermo makanan

Pada tabel 4.9 hasil dari validasi oleh ahli materi dosen Jurusan Tadris IPA, Fakultas Tarbiyah IAIN Kudus dan Kaprodi Pendidikan Kimia Fakultas MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang. Berdasarkan tabel tersebut ada beberapa saran dan masukan dari validator pada KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) sebelum dijadikannya media pembelajaran siswa.

c. Respon Pendidik/Guru

Produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang sudah divalidasi, selanjutnya akan dinilai atau dievaluasi oleh pendidik/guru untuk mengetahui optimasi desain. Penilaian atau respon pendidik/guru dilakukan dengan mengisi kuisioner penilaian terdiri dari 3 aspek dengan 14 indikator dan 24 butir pertanyaan. Jumlah responden produk KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yaitu 3 guru IPA SMP/MTs, data penilaian pada tabel 4.10.

Adapun biodata ketiga responden/guru yang menilai dan mengevaluasi KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) sebagai berikut:

- i. Responden 1
 Nama : Wening Dwi Prastiwi, S.Pd
 Tempat/Tanggal Lahir : Jepara, 4 Januari 1997
 Email : weningdwiprastiwi@gmail.com
 Pendidikan Terakhir : Universitas Negeri Semarang (Pendidikan Kimia)
 Sekolah yang diajar : SMP Islam Al-Hikmah Mayong
 Mata Pelajaran yang diampu : IPA
 Pengalaman mengajar : 2 tahun
- ii. Responden 2
 Nama : Ro'i Khatul Jannah, S.Pd
 Tempat/Tanggal Lahir : Jepara, 5 Desember 1998
 Email : rojannah5.rj@gmail.com
 Pendidikan Terakhir : Institut Agama Islam Negeri Kudus (Tadris IPA)
 Sekolah yang diajar : SMP Islam Al-Hikmah Mayong
 Mata Pelajaran yang diampu : IPA
 Pengalaman mengajar : 1 tahun
- iii. Responden 3
 Nama : Helmi Auliya, S.Pd
 Tempat/Tanggal Lahir : Jepara, 14 September 1999
 Email : helmiauliya0@gmail.com
 Pendidikan Terakhir : Institut Agama Islam Negeri Kudus (Tadris IPA)
 Sekolah yang diajar : MTs Muhammadiyah Nalumsari
 Mata Pelajaran yang diampu : IPA
 Pengalaman mengajar : 1 tahun

Gambar 4.5 Proses Validasi Responden



Tabel 4.10 Hasil Responden Pendidik/Guru

Responden	Aspek Penilaian	Jumlah Skor	Presentase	Kriteria
Pendidik 1	Desain Media	8	100%	Sangat tinggi
	Pembelajaran	8	100%	Sangat tinggi
	Performa	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	
Pendidik 2	Desain Media	8	100%	Sangat tinggi
	Pembelajaran	8	100%	Sangat tinggi
	Performa	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	
Pendidik 3	Desain Media	8	100%	Sangat tinggi
	Pembelajaran	8	100%	Sangat tinggi
	Performa	8	100%	Sangat tinggi
Jumlah		24	300%	Sangat tinggi
Nilai Akhir		8	100%	Sangat tinggi

Pada tabel 4.10 diperoleh hasil validasi responden pendidik/guru dengan aspek desain media, pembelajaran, dan performa mendapatkan penilaian yaitu % sangat tinggi. Hal ini membuktikan bahwa KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) sudah layak dan sesuai sebagai media pembelajaran siswa SMP/MTs pada topik perubahan energi.

KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) diharap dapat membantu proses pembelajaran dan dapat memudahkan siswa dalam memahami materi pada

topik perubahan energi. Siswa juga dapat melatih keterampilan praktikum dan pengoprasian media pembelajaran melalui KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs).

C. Uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) Sebagai Media Pembelajaran Siswa SMP/MTs Topik Perubahan Energi

Uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) memiliki beberapa tahap dan variabel yang perlu dilakukan peneliti. Pengambilan data pada uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dilaksanakan dengan melakukan penelitian menggunakan 2 desain ukuran botol tabung dan 4 substrat yang dipakai. Setiap substrat diuji cobakan sebanyak 3 kali selama 48 jam/2 hari dan setiap jam perlu diamati perkembangan voltase dan suhu substratnya.

Tabel 4.11 Variabel Uji Coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

No	Variabel	Substrat	Jumlah Uji Coba	Pengamatan	Waktu Uji Coba
1	Tabung 600ml	100% Lumpur	3 kali	Volt (V)	48 Jam/2 Hari
		100% EM4	3 kali		
		50% Lumpur 50% EM4	3 kali	Suhu (°C)	
		100% Air	3 Kali		
2	Tabung 36ml	100% Lumpur	3 kali	Volt (V)	48 Jam/2 Hari
		100% EM4	3 kali		
		50% Lumpur 50% EM4	3 kali	Suhu (°C)	
		100% Air	3 Kali		

Pengambilan data memerlukan beberapa tahap yang perlu dilakukan peneliti, diantaranya mengambil dan menyiapkan substrat yang akan dibutuhkan untuk penelitian seperti lumpur, EM4 dll. Mikroorganisme yang berperan penting dalam sistem MFCs merupakan bakteri penghasil listrik yang umumnya meliputi *Geobacter* sp, *Shewanella* sp, dan *Escherichia coli*⁸.

**Tabel 4.12 Tahap Uji Coba KIT
Microbial Fuel Cells (MFCs)**

No	Kegiatan	Gambar	Penjelasan
1	Menyiapkan KIT		Siapkan KIT <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) lalu pasang semua komponen yang tersedia seperti botol tabung, elektoda, kabel, <i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM)/jembatan garam dll.
2	Mengambil substrat penelitian		Gambar disamping merupakan proses pengambilan substrat penelitian yaitu lumpur kali. Pengambilan substrat menggunakan scop, cangkul kecil dan ember. Setelah substrat diambil harus langsung digunakan secara bersamaan, karena ketika penggunaan substrat lumpur dipisah dengan jangka waktu

⁸ Dessy Rosita Sari and CHANIFAH HIDAYA, “Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells* (MFCs),” *Institut Teknologi Sepuluh Nopember* (2017): 77.

No	Kegiatan	Gambar	Penjelasan
			yang lama, microba yang terkandung dalam lumpur akan berbah dan akan mempengaruhi hasil dari penelitian.
3	Memasukkan substrat ke botol tabung		Setelah mengambil substrat lalu masukkan substrat ke dalam botol tabung yang nantinya akan menjadi ruang anoda.
4	Mengambil air dan memasukkan ke botol tabung yang satunya		Masukkan air ke dalam botol tabung yang satunya, nantinya tabung yang berisi air ini akan menjadi ruang katoda
5	Membuat bahan untuk jembatan garam		Bahan jembatan garam yaitu campuran air, agar-agar dan garam dengan konsentrasi 1M, campurkan semua bahan yang sudah ditakar kedalam gelas kimia, lalu didihkan menggunakan kompor listrik dan aduk-aduk sampai sedikit mengental.

No	Kegiatan	Gambar	Penjelasan
6	Memasukkan bahan ke jembatan garam		Setelah bahan jadi, langsung masukkan bahan ke jembatan garam lalu tunggu hingga mengeras dan dingin.
7	Pasang jembatan garam ke botol tabung yang sudah diisi substrat		Setelah bahan jembatan garam jadi, pasang jembatan garam ke botol tabung melalui atas tutup botol yang sudah dilubangi.
8	Amati tegangan volt dan suhu		Amati tegangan listrik (V) dan juga suhu dari substratnya ($^{\circ}\text{C}$) selama 48 jam. Setiap jam diamati perkembangan tegangan dan suhunya

1. Hasil Uji Coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)

Uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dilakukan pengambilan data dengan melangsungkan uji coba 2 substrat sekaligus serta menggunakan tabung 600ml dan 36ml. Uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dilakukan selama 48 jam dari setiap substratnya, setiap satu jam dicatat perkembangan voltase dan suhunya, lalu setiap substrat dilakukan uji coba sebanyak 3 kali.

Namun ketika dipakai pembelajaran dalam kelas, waktu pengamatan KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) cukup dengan 1 jam saja, melihat dari kondisi kelas dan waktu jam pelajaran yang tidak memungkinkan untuk melakukan pengamatan dengan jangka waktu yang lama.

Tabung yang digunakan untuk pengambilan data dibedakan dengan memberi simbol berupa huruf A, B, dan C. Setiap tabung akan memiliki data masing-masing lalu akan dihitung rata-ratanya.

Berikut merupakan gambar proses uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang telah dilakukan.

Gambar 4.6 Proses Uji Coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs)



(Sumber: Dokumen Pribadi)

Data uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) secara keseluruhan dapat dilihat dalam lampiran-lampiran yang tersedia. Data secara ringkas akan dibahas satu persatu.

a. Botol Tabung Volume 600ml

Data pengukuran KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) tabung 600ml dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Grafik tersebut memuat nilai tegangan dan suhu yang diamati dari setiap substrat yang diuji cobakan selama 48 jam.

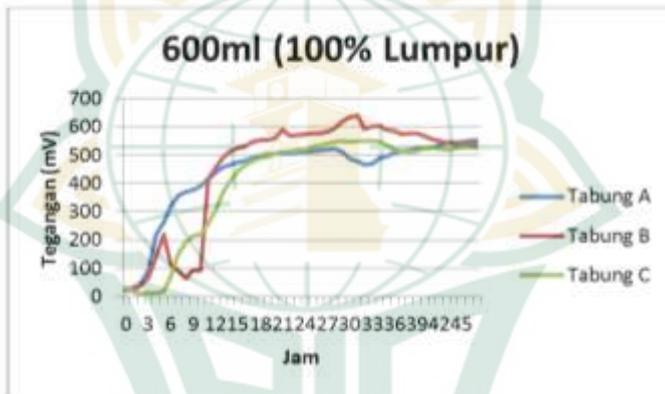
1) Penggunaan Substrat 100% Lumpur

Substrat lumpur diambil dari lumpur sungai yang memiliki potensi mengandung banyak microba

didalamnya. Sungai tersebut menjadi tempat pembuangan limbah produksi tahu dan tempe milik masyarakat. Adanya limbah kedelai yang ikut mengalir dalam sungai akan menambah produksi microba dalam air tersebut dan lumpur yang dihasilkan akan mengandung banyak microba.

Berikut merupakan grafik voltase dalam hasil uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) substrat 100% lumpur.

Gambar 4.7 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% Lumpur

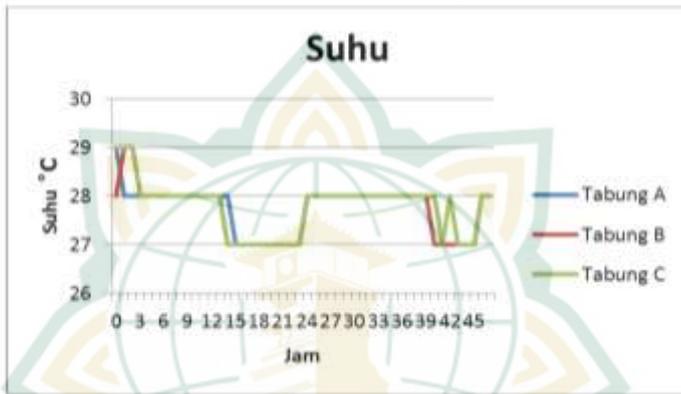


Pada grafik diatas diperlihatkan hasil uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) variabel tabung 600ml dengan substrat 100% lumpur. Setiap tabung dalam pengamatan substrat 100% lumpur mendapatkan hasil yang berbeda-beda, namun secara keseluruhan hasilnya hampir sama. Tegangan paling tinggi terjadi pada tabung B dengan rata-rata tegangannya 453.15mV, tegangan pada tabung A yang rata-rata 440.58 mV, sedangkan pada tabung C mendapatkan tegangan dengan rata-rata sebanyak 406.60 mV.

Dari gambar grafik, penggunaan substrat 100% lumpur ini menghasilkan tegangan mencapai 640 mV yang merupakan hasil tegangan paling tinggi dari semua substrat. Tegangan tersebut terjadi pada tabung B. Jumlah sel dipengaruhi oleh banyaknya

mikroorganisme yang dapat memproduksi listrik yang berada didalam lumpur. Oleh karena itu dengan semakin banyaknya mikroorganisme maka berbanding lurus dengan produksi listrik yang dihasilkan⁹.

Gambar 4.8 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% Lumpur



Kinetika bakteri, transfer massa proton melalui elektrolit dan laju reaksi oksigen pada katoda menentukan performa MFCs dan semua tergantung kepada temperature. Biasanya konstanta reaksi biokimia mengganda setiap kenaikan temperature 10°C sampai tercapai temperature optimal. Sebagian besar studi MFCs dilakukan pada temperatur 28-35°C¹⁰.

Suhu yang didapatkan pada substrat 100% lumpur diangka 27°C-29°C. Pengukuran suhu hanya dilakukan dalam ruang anoda saja yang berisi substrat. Pengukuran suhu juga dilakukan selama 48 jam, setiap 1 jam dicatat naik turunnya suhu tersebut.

⁹ Nugraeny and Sari, “Pengolahan Limbah Molases Sebagai Sumber Energi Listrik Serta Reduksi Logam Berat Cr (VI) Dengan Reaktor Dual Chamber Microbial Fuel Cell (MFC) Sistem Kontinyu.”

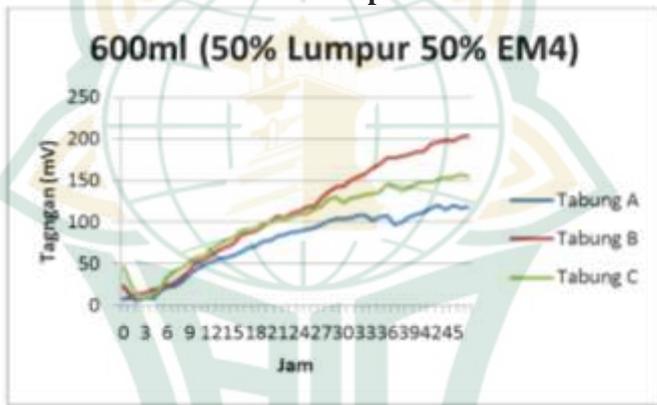
¹⁰ Sari, “Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan Microbial Fuel Cells (MFCs).”

2) Penggunaan Substrat 50% Lumpur 50% EM4

Lumpur yang dipakai dalam substrat ini merupakan lumpur yang sama dengan yang digunakan pada substrat 100% lumpur, diambil ditempat yang sama dan diwaktu yang sama. EM4 yang dipakai pada substrat merupakan EM4 untuk tanaman. Kedua substrat tersebut dicampur dengan perbandingan 1:1.

Hasil dari uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) pada substrat 50% lumpur 50% EM4 dapat dilihat pada grafik dibawah.

Gambar 4.9 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 50% Lumpur 50% EM4

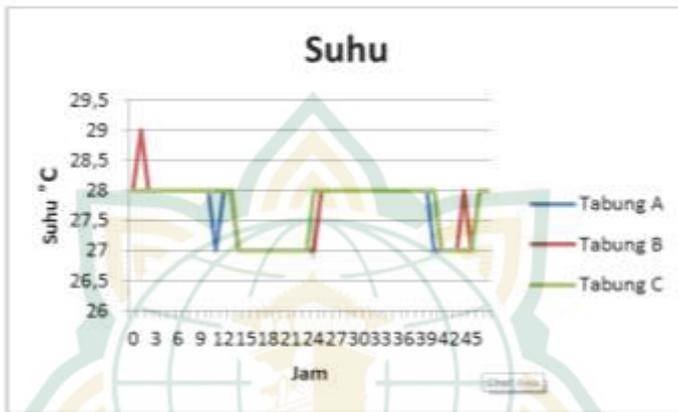


Pada gambar grafik 4.9 yang dilakukan penelitian menggunakan 50% lumpur dan 50% EM4 mendapatkan hasil dengan kenaikan voltase yang tinggi. Kenaikan tersebut terjadi pada semua tabung yaitu tabung A, B dan C. Grafik menunjukkan kenaikan yang paling signifikan terjadi pada tabung B dengan tegangan tertingginya yaitu 204 mV Pada tabung A mendapatkan voltase dengan rata-rata 76 mV, pada tabung B tegangan rata-ratanya adalah 111.56 mV, sedangkan pada tabung C mendapatkan rata-rata 99.375 mV.

Kenaikan voltase yang signifikan dan stabil disebabkan produksi microba yang setiap jam bertambah. Lumpur yang dipakai memiliki microba

yang tinggi dicampur dengan EM4 yang dapat meningkatkan produksi microba.

Gambar 4.10 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 50% Lumpur 50% EM4



Suhu pada substrat 50% lumpur dan 50% EM4 berlangsung stabil, suhu terendah pada substrat terjadi pada jam 05:00-06:00. Pengukuran suhu dilakukan dengan mengukur suhu dari substrat yang dipakai. Suhu pada substrat 50% lumpur 50% EM4 dipengaruhi oleh suhu ruangan. Semakin rendah suhu pada ruangan maka semakin rendah suhu substrat.

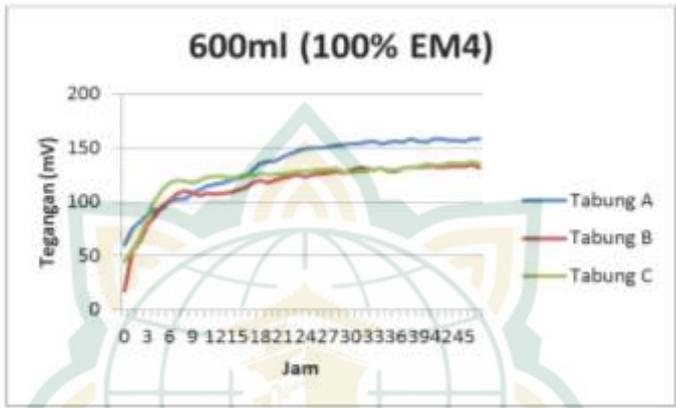
3) Penggunaan Substrat 100% EM4

Substrat 100% EM4 menggunakan larutan EM4 untuk tanaman, bakteri yang terkandung dalam EM4 untuk tanaman adalah *Lactobacillus sp.* dan *Saccharomyces sp.* bakteri-bakteri tersebut mampu memfermentasi bahan organik didalam tanah menjadi unsur-unsur organik, meningkatkan produktivitas microba dalam tanah yang berdampak pada kesuburan tanah.

Uji coba dengan substrat 100% EM4 mendapatkan hasil voltase yang lebih stabil dari pada substrat lain. Pada tabung A mendapatkan rata-rata voltase sebanyak 133.8 mV, tabung B dengan rata-rata voltase 115.8

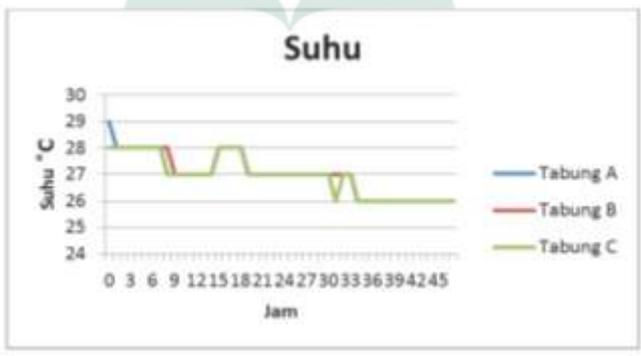
mV, dan tabung C mendapatkan rata-rata 121.8 mV. Perkembangan voltase dapat dilihat pada grafik 4.11.

Gambar 4.11 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% EM4



Grafik diatas menunjukkan kenaikan voltase dengan substrat 100% EM4, walaupun kenaikan dan tingkat tegangan yang cenderung stabil, namun pada tabung A menghasilkan tegangan yang lebih besar dari pada tabung lain yaitu 158.5 mV. Pada bakteri *Saccharomyces sp.* yang terkandung dalam substrat EM4 dapat berkembangbiak dengan cepat dan memiliki sifat stabil. Hal tersebut yang menyebabkan kenaikan voltase pada substrat 100% EM4 lebih stabil dari substrat lain.

Gambar 4.12 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% EM4

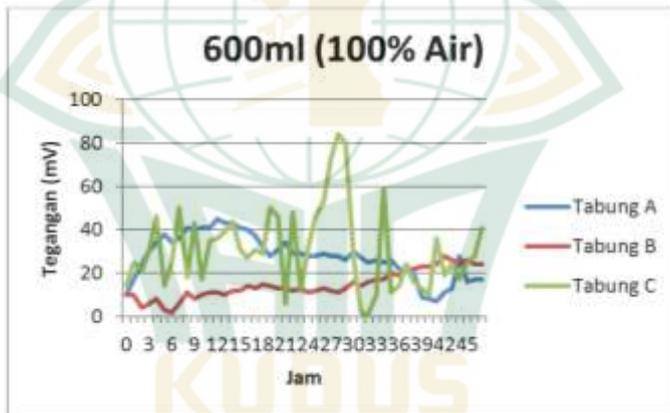


Suhu pada substrat 100% EM4 cenderung turun selama berjalannya waktu, suhu terendah terjadi pada akhir percobaan yaitu 26°C. uji coba KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) pada substrat 100% EM4 dimulai dari jam 13:00 berlangsung 2 hari dan diakhiri pada jam 12:00.

4) Penggunaan Substrat 100% Air

Air yang digunakan penelitian merupakan air PAM yang diambil dari rumah peneliti. Pada substrat ini kedua tabung yakni tabung anoda dan tabung katoda berisi air. Voltase yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar grafik 4.13.

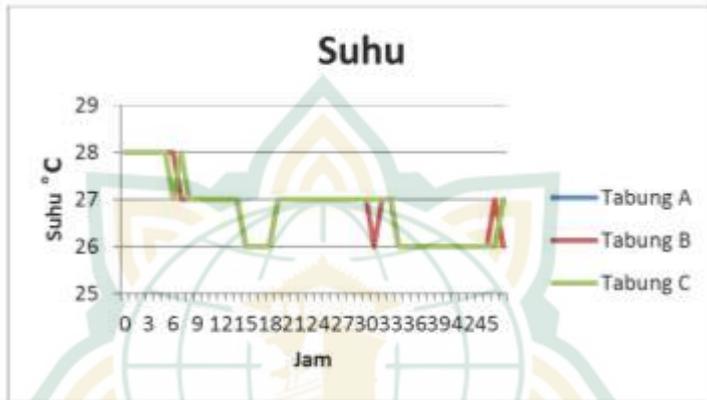
Gambar 4.13 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% Air



Bisa dilihat dari gambar grafik diatas yang menunjukkan bahwa naik turunnya voltase pada substrat 100% air sangat tidak stabil dan cenderung rendah hasilnya. Uji coba menggunakan substrat 100% air mendapatkan voltase terendah dari pada substrat lainnya, hal tersebut terjadi karena besarnya kemungkinan microba yang terkandung dalam air PAM terlalu sedikit jika dibandingkan dengan substrat yang lain. Sedikitnya microba akan mempengaruhi hasil dari praktikum tersebut. Substrat 100% air pada tabung A memiliki rata-rata voltase yaitu 27.77 mV,

pada tabung B memiliki rata-rata voltase 14.56 mV, dan pada tabung C memiliki rata-rata voltase sebanyak 30.88 mV.

Gambar 4.14 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% Air



Suhu pada substrat 100% air cenderung turun selama penelitian, suhu terendah pada 100% air terjadi pada jam 00:00-08:00 dengan suhu 26°C. penelitian menggunakan substrat 100% air dilakukan pada jam 13:00 berlangsung 2 hari dan diakhiri pada jam 12:00.

b. Botol Tabung Volume 36ml

Tata cara dan konsep pengambilan data yang dilakukan pada tabung 36ml sama dengan yang dilakukan pada tabung 600ml. Substrat yang digunakan sama, jangka waktu pengambilan data juga sama, perbedaannya terdapat pada ukuran dan volume tabung.

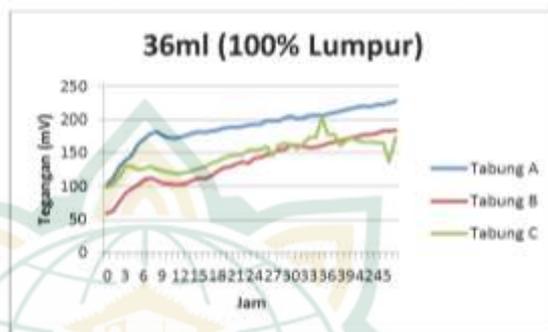
Data pengukuran KIT Microbial Fuel Cells (MFCs) tabung 36ml menggunakan tabung kecil sehingga cuma muat menampung substrat sedikit.

1) Penggunaan Substrat 100% Lumpur

Lumpur yang digunakan pada tabung 36ml sama dengan lumpur yang digunakan pada penelitian tabung 600ml, lokasi pengambilan sama namun waktu pengambilan yang berbeda. Voltase

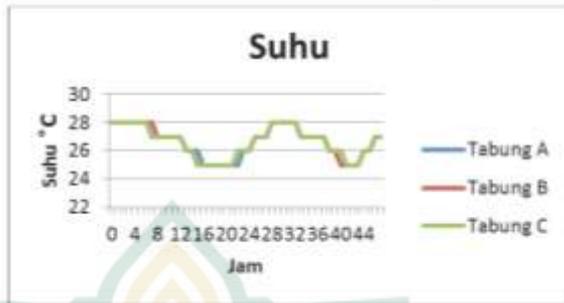
yang dihasilkan pada tabung 36ml substrat 100% lumpur dapat dilihat pada gambar grafik 4.15.

Gambar 4.15 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 100% Lumpur



Grafik voltase diatas menunjukkan kenaikan tegangan listrik yang stabil. Pada tabung 36ml substrat 100% lumpur dapat menghasilkan voltase paling tinggi yaitu sebesar 228.0 mV. Penggunaan tabung bervolume 36ml dengan substrat 100% lumpur menghasilkan tegangan listrik yang besar jika dibanding dengan penggunaan substrat lain, pada uji coba tabung 36ml menghasilkan tegangan listrik rata-rata yaitu pada tabung A yaitu 189.21 tabung B 135.94 dan pada tabung C 146.79, hal tersebut membuktikan bahwa dalam substrat 100% lumpur terkandung banyak microba, semakin banyak microba semakin banyak proton dan elektron yang dihasilkan dan berpengaruh besar dalam tegangan listrik.

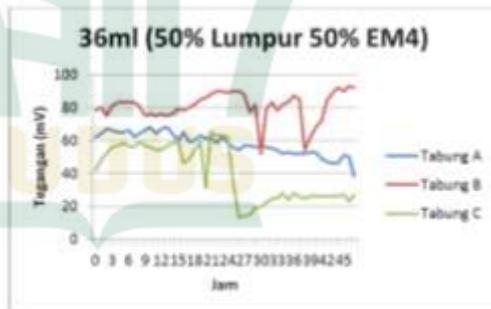
Gambar 4.16 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 100% Lumpur



Kenaikan dan penurunan suhu pada substrat 100% lumpur dapat diamati pada grafik diatas. Pada saat melakukan penelitian suhu pada substrat berkisar anatar 25-28°C. pengambilan data pada tabung 36ml substrat 100% lumpur dilakukan pada jam 11:00 dan diakhiri jam 10:00.

2) Penggunaan Substrat 50% Lumpur 50% EM4.

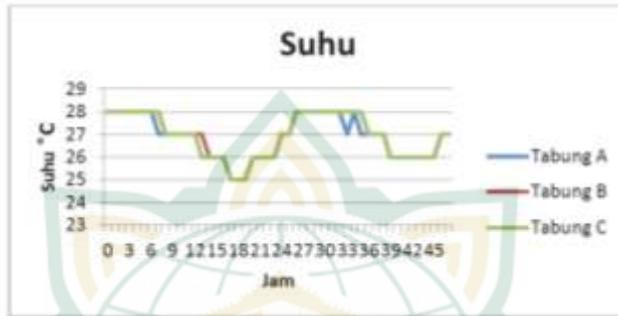
Gambar 4.17 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 50% Lumpur 50% EM4



Pada grafik 4.17 dapat diamati perkembangan voltase dari KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) tabung 36ml substrat 50% lumpur 50% EM4, pada substrat ini dapat menghasilkan tegangan listrik paling besar yaitu 93.3 mV. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata tegangan listrik pada rangkaian tersebut yaitu, pada tabung A memiliki

rata-rata tegangan 57.96 mV, tabung B 80.81 mV, dan pada tabung C bertegangan 40.08 mV.

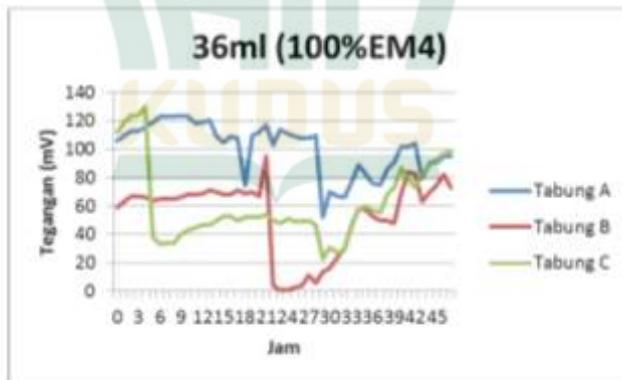
Gambar 4.18 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 50% Lumpur 50% EM4



Perubahan suhu yang terjadi dalam ruang anoda berkisar antara 28-25°C. Pada penelitian KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) voltase paling tinggi terjadi pada saat variabel 27°C. pengambilan data dimulai pada jam 11:00 samapai jam 10:00.

3) Penggunaan Substrat 100% EM4

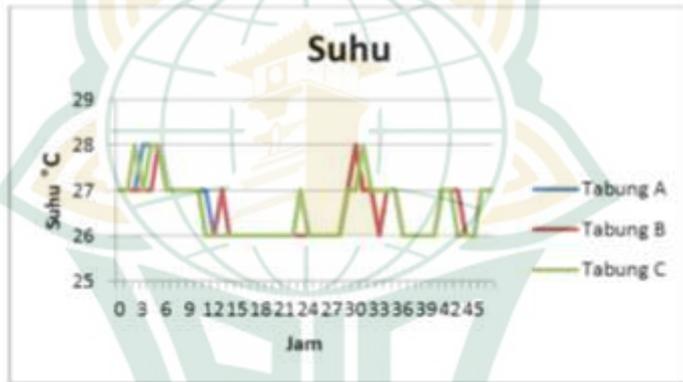
Gambar 4.19 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 100% EM4



Grafik voltase menunjukkan naik turunnya tegangan listrik yang dihasilkan pada tabung 36ml substrat 100% EM4. Tegangan listrik paling tinggi yang dihasilkan substrat 100% EM4 pada tabung

36ml yaitu 123.8 mV. Pada tabel data pengukuran tabung 36ml dengan substrat 100% EM4 terlihat bahwa hasil rata-rata yang diperoleh pada tabung 36ml dengan 600ml berbeda, jelas perbedaannya pada tabung 600ml lebih banyak menghasilkan tegangan listrik, itu dikarenakan jumlah microba yang terdapat dalam tabung berbeda. Tabung 36ml rata-rata menghasilkan tegangan listrik pada tabung A 101.04mV, tabung B 53.69mV, dan pada tabung C menghasilkan sebanyak 61.63 mV.

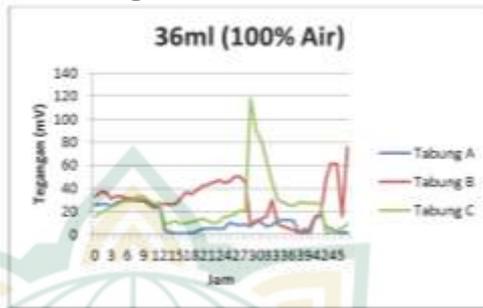
Gambar 4.20 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 100% EM4



Suhu yang terjadi pada substrat 100% EM4 cenderung naik turun tidak stabil, terlihat dari gambar grafik diatas. Hal tersebut terjadi karena substrat yang ada dalam tabung sedikit dan suhu lebih mudah naik turun.

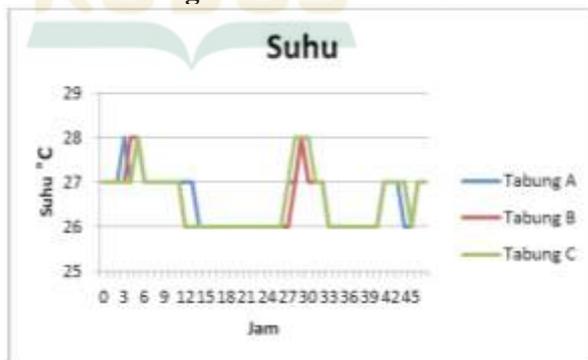
4) Penggunaan Substrat 100% Air

Gambar 4.21 Grafik Voltase Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 100% Air



Tegangan listrik yang dihasilkan pada substrat 100% pada tabung 36ml sangat rendah, pada ketiga tabung rata-rata tidak sampai 50mV. Pada tabung A menghasilkan voltase rata-rata 12.04 mV, tabung B 30,21 mV, dan tabung C 25.40 mV. Hal tersebut karena dalam substrat 100% air terdapat sedikit microba dan tabungnya tidak dapat menampung banyak substrat. substrat 100% air hanya menghasilkan tegangan listrik paling tinggi yaitu 118.5 mV. Hal tersebut dikarenakan sedikitnya microba yang terkandung dalam air dan jumlah volume substrat yang dipakai.

Gambar 4.22 Grafik Suhu Hasil Uji Coba Tabung 36ml Substrat 100% Air



Suhu pada substrat 100% air cenderung dingin yaitu pada angka 26 °C, hal tersebut mengikuti suhu pada ruangan yang digunakan untuk penelitian. Pengambilan data dimulai dari jam 09:00 sampai jam 08:00.

Terbentuknya biofilm yang lebih stabil pada substrat dengan waktu inkubasi yang paling lama diperkirakan membuat *Microbial Fuel Cells* (MFCs) lebih lama memproduksi listrik. Mikroba membutuhkan waktu untuk beradaptasi di lingkungan sekitarnya dan untuk bereproduksi sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama agar terbentuk konsorsium mikroba yang stabil. Biofilm yang stabil akan mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga produksi listrik hasil metabolisme mikroba yang terbentuk kecil diawal eksperimen namun cenderung stabil seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini disebabkan karena kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik dalam substrat. Namun jika terlalu lama, maka senyawa organik yang terdapat dalam lumpur akan terus terdegradasi. Logan menyatakan jika tidak ada senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun karena tidak ada lagi senyawa yang dioksidasi¹¹.

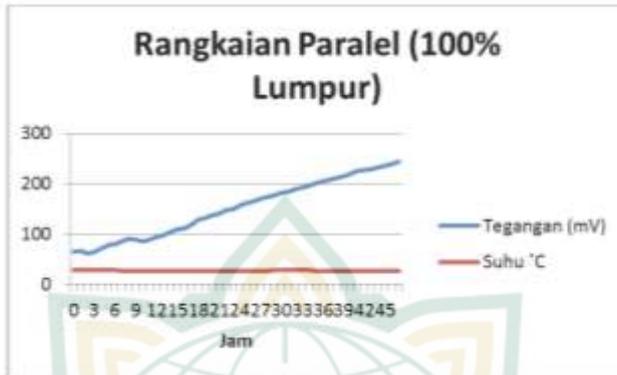
c. Rangkaian Paralel

Setelah uji coba dan penelitian KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) mengenai desain KIT dan substrat, substrat dan desain KIT yang menghasilkan tegangan listrik paling tinggi akan diujicobakan menggunakan rangkaian paralel. Hasil tegangan yang paling tinggi diperoleh ketika menggunakan tabung bervolume 600ml dengan substrat 100% lumpur.

Hasil dari ujicoba rangkaian paralel dapat diamati pada gambar 4.23.

¹¹ Erwinsyah Satria, "Penggunaan Alat Peraga Dan Kit IPA Oleh Guru Dalam Pembelajaran Di Beberapa Sekolah Dasar Di Kecamatan Padangng Utara Dan Nanggalo Kota Padang."

Gambar 4.23 Grafil Voltase dan Suhu Hasil Uji Coba Tabung 600ml Substrat 100% Lumpur Pada Rangkaian Paralel.



Grafik diatas menunjukkan voltase yang dihasilkan pada rangkaian paralel KIT *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dengan substrat 100% lumpur, voltase yang dihasilkan selalu bertambah seiring berjalannya waktu. Microba dalam tabung memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitar dan bereproduksi. Semakin lama penelitian yang dilakukan akan semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan.

Rangkaian paralel menggunakan 6 tabung yang dijadikan ruang anoda dan 6 tabung yang dijadikan ruang katoda. Setiap ruang anoda dan ruang katoda disambung dengan PEM/jembatan garam, konduksi yang terdapat dalam 1 rangkaian KIT disambungkan dengan rangkaian lainnya yang menghasilkan rangkaian paralel.

Rangkaian paralel dapat menghasilkan tegangan listrik lebih besar dibandingkan rangkaian seri, hal tersebut disebabkan banyaknya substrat yang digunakan serta banyaknya microba yang terkandung dalam substrat tersebut.

Pengambilan data dibatasi selama 48 jam, pada waktu tersebut dirangkaian paralel menghasilkan tegangan listrik paling besar yaitu 244.0 mV. Tegangan listrik tersebut akan terus naik seiring bertambahnya waktu.