

PRODUKTIVITAS LISTRIK MICROBIAL FUEL CELL PADA SUBSTRAT LIMBAH AIR REBUSAN MIE INSTAN

Erwin Satria Zulfikar¹⁾, Mastiadi Tamjidillah²⁾, Muhammad Nizar Ramadhan³⁾

^{1.2.3}Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
Akhmad Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714
Telp. 0511 – 4773858
Email: satriaz90@rocketmail.com

Abstract

In this modern age the need for energy is increasing. This will trigger energy activists to continue to innovate in developing appropriate and efficient alternative energy. One of technology that has the potential to be developed is a Microbial Fuel Cell (MFC) that utilizes microorganisms as catalysts to degrade organic compounds to produce electricity. This experiment focuses on the influence of the incubation time of the waste substrate of instant noodle stew water and the addition of an aerator as an addition to the oxygen compound in the cathode section. The incubation variations carried out in this study were 1 day, 3 days and 7 days. The optimal electricity production results were obtained from a variation of 7 days incubation with currents and voltages of 528 mA and 627 mV, while the incubation of 1 day electric current and maximum voltage obtained were 274 mA and 540 mV. At 3 days incubation of electric current and the maximum voltage is 390 mA and 588 mV. 3. The addition of aerators to the system greatly affects the system, which has an impact on increasing the current and voltage in the Microbial Fuel Cell.

Keywords: *Electricity, Microorganism, Incubation, Current, Voltage*

PENDAHULUAN

Permasalahan akan energi merupakan permasalahan yang sampai saat ini masih menjadi daya tarik pada penggiat energi. Jumlah ketersediaan energi pada saat ini sangat terbatas, hal ini akan berpengaruh pada per ekonomian dimana harga bahan-bahan pokok juga akan melonjak. Salah satu inovasi dalam bidang energi yang saat ini sedang ramai dibicarakan adalah *Microbial Fuel Cell*. *Microbial Fuel Cell* memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis yang mendegradasi senyawa organik menjadi listrik.

Pada daerah perkotaan limbah rumah tangga baik berupa limbah padat, cair maupun gas seringkali dibuang begitu saja tanpa memikirkan dampak yang akan terjadi terhadap lingkungan. Padahal jika dimanfaatkan dengan baik dan benar limbah cair rumah tangga yang mengandung bahan organik masih dapat dijadikan sebagai substrat pada sistem *Microbial Fuel Cell*. Salah satu limbah cair yang dihasilkan masyarakat perkotaan adalah limbah air bekas rebusan mie instan. Air rebusan mie instan jika dibuang begitu saja tentu akan menjadi polusi pada perairan dan tanah. Limbah inientunya dapat digunakan sebagai substrat pada sistem MFC karena sangat ekonomis dan juga ketersediannya yang banyak sehingga mudah untuk didapatkan sebagai substrat pada sistem MFC. Berdasarkan uraian diatas,

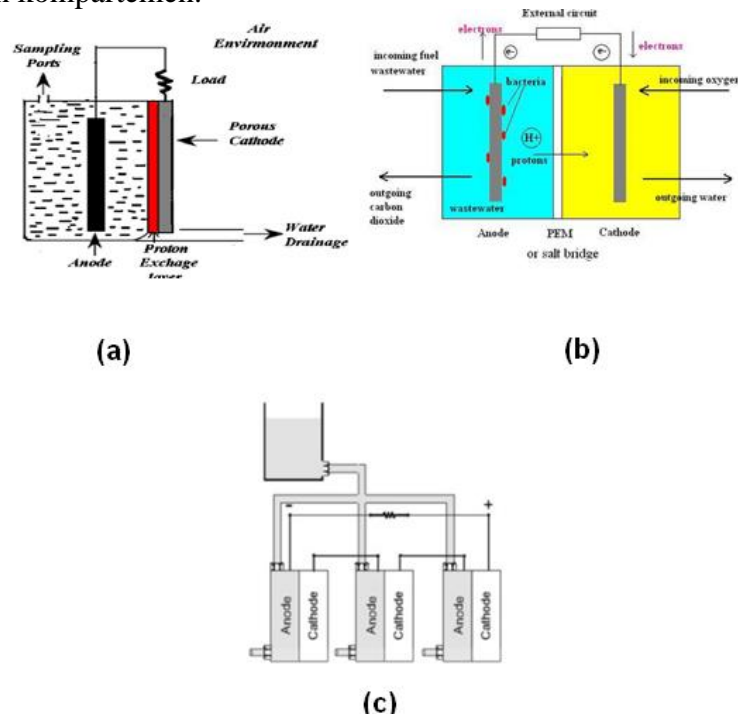
maka penulis mengangkat penelitian yang berjudul “Produktivitas listrik Microbial Fuel Cell pada substrat limbah air rebusan mie instan”.

Microbial Fuel Cell

Microbial Fuel Cell atau sering disingkat MFC merupakan sistem pembangkit listrik berbasis bioelektrokimia dengan memanfaatkan organisme mikro yang tersedia di alam. Mikroorganisme pada sistem MFC mengubah senyawa organik menjadi ion-ion positif dan negatif. Ion inilah yang nantinya akan dirubah menjadi energi listrik.

Jenis-Jenis Microbial Fuel Cell

Sistem MFC dapat dibedakan berdasarkan desain kompartemen yang dibuat yaitu *single chamber*, *double chamber* dan Stack. Gambar 1 merupakan desain MFC berdasarkan kompartemen.



Gambar 1. *Single Chamber* (a), *Double chamber* (b), *Stack* (c)

Faktor Operasional Pada sistem MFC

Pada perancangan sebuah alat, pastinya ada beberapa hal yang dapat berpengaruh langsung dengan hasil *output* yang diberikan. Pada alat *microbial fuel cell* pengaruh-pengaruh tersebut sangat diperhatikan karena dapat berdampak langsung dengan perolehan listrik yang akan dihasilkan. Faktor pertama yaitu substrat. Jenis substrat merupakan kunci untuk memproduksi listrik dalam MFC. Penggunaan substrat yang tepat dapat membantu pertumbuhan mikroba secara optimal. Selain substrat sifat kimia pada juga mempengaruhi keluaran listrik. Ph merupakan faktor penting dalam pertumbuhan mikroba. Kebanyakan MFC beroperasi pada pH yang netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukan listrik (Liu, 2008). Selain pH

kondisi lingkungan juga penting bagi pertumbuhan mikroba seperti suhu dan kelembapan.

Aerasi Pada MFC

Kekurangan akseptor elektron pada katoda adalah salah satu faktor dari kurangnya daya yang dihasilkan pada sistem MFC. Jumlah akseptor elektron berpengaruh langsung dengan keluaran daya. Umumnya pada sistem MFC, oksigen digunakan sebagai akseptor elektron di katoda. Pada keadaan 1 ATM, oksigen terlarut (DO) merupakan faktor pembatas utama. Pengaruh ini dihasilkan oleh dua peran penting dari oksigen pada sisi katoda, sebagai penerima elektron pada permukaan katoda dan pembatasan bakteri anaerob pada anoda. Selanjutnya, tingkat oksigen yang banyak menyebabkan perembesan oksigen ke dalam bagian anoda dan pertumbuhan mikroorganisme heterotrofik, yang mana akan menurunkan performa pada MFC. Namun oksigen adalah akseptor elektron yang paling sering digunakan karena ketersediaannya dan juga tidak beracun.

Salah satu cara untuk penambahan oksigen pada sistem MFC adalah menggunakan aerator akuarium. Pada akuarium aerator digunakan untuk meningkatkan kadar oksigen dengan cara meningkatkan tekanan yang membuat terurainya H_2O sehingga sirkulasi pernapasan ikan di dalam akuarium tercukupi. Semakin kecil gelembung oksigen yang dihasilkan, maka oksigen yang diserap oleh air akan semakin cepat. Gambar 2 adalah Gambar dari aerator akuarium.

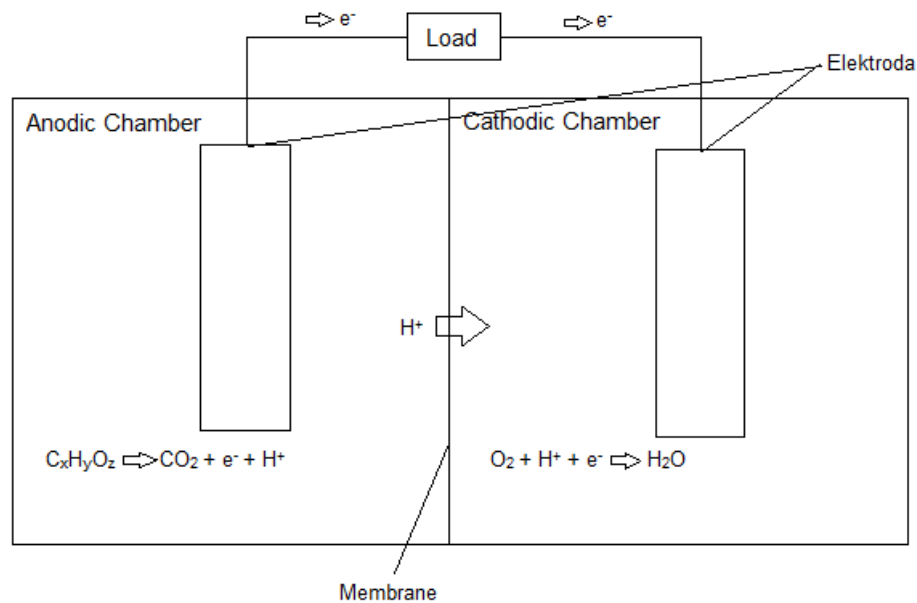


Gambar 2. Aerator Akuarium

Prinsip Kerja

Pada sistem MFC senyawa organik langsung dikonversikan oleh mikroorganisme menjadi energi listrik. Senyawa organik dirubah mikroorganisme melalui proses metabolisme menjadi CO_2 , proton, dan elektron. Ion-ion inilah yang kemudian diubah menjadi energi listrik akibat perbedaan potensial listrik pada masing-masing kompartemen MFC.

Umumnya pada sistem MFC terdiri dari anoda dan katoda yang dilengkapi dengan elektroda dimasing-masing kompartemen, serta sebuah penukar proton. Anoda merupakan tempat dimana substrat diletakkan, sedangkan pada katoda terdapat larutan elektrolit.



Gambar 3. Prinsip kerja MFC

Seperti yang terlihat pada Gambar 3, bakteri yang berperan sebagai katalis menguraikan senyawa organik dan menghasilkan CO_2 , e^- dan H^+ , Proton dialirkan ke arah katoda melalui membran proton *exchange*, sementara itu elektron dialirkan melalui beban, elektron yang dialirkan ini lah yang menghasilkan listrik. Kemudian proton yang ada pada katoda berikatan dengan oksigen membentuk H_2O .

Elektroda

Elektroda adalah kutub atau plat pengantar masuk dan keluarnya aliran listrik pada sistem MFC. Material elektroda pada *Microbial Fuel Cell* merupakan material yang bersifat konduktif, dan tidak mengandung racun bagi mikroorganisme yang hidup pada anoda. Bahan yang sering digunakan pada elektroda adalah timbal, seng dan tembaga. Pada *microbial fuel cell*, anode merupakan kutub negatif. Elektroda akan melepaskan elektron menuju ke sirkuit dan karenanya arus listrik mengalir ke dalam elektrode ini dan menjadikannya anode dan berkutub negatif. Dalam MFC, reaksi oksidasi terjadi secara spontan. Karena reaksi pelepasan elektron berlangsung secara terus-menerus. Sedangkan katoda merupakan kutub positif dimana elektron yang keluar dari anoda akan dialirkan ke dalam kutub ini.

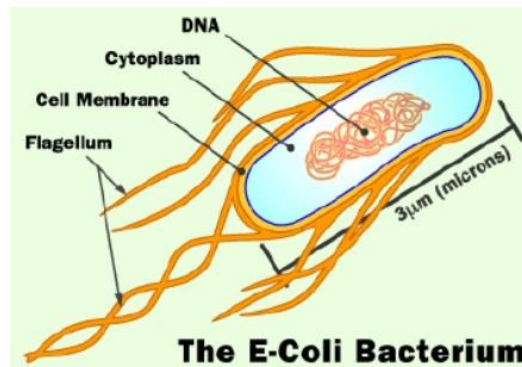
Substrat Pada MFC

Substrat adalah faktor utama pada produktivitas listrik pada sistem MFC. Berbeda dengan baterai dan sel volta, substrat pada MFC merupakan senyawa organik *biodegradable* yang nantinya akan dirubah mikroorganisme menjadi energi listrik. Senyawa organik yang digunakan merupakan senyawa cair sederhana dan memiliki nilai nutrisi yang diperlukan oleh bakteri. Semakin sederhana senyawa yang dimiliki maka akan semakin baik bagi perolehan listrik karena proses metabolisme bisa dilakukan dengan waktu yang singkat.

Microorganisme pada MFC

Mikroba adalah suatu organisme yang berukuran sangat kecil, umumnya ukuran satu mikroba hanya mencapai kurang dari 1 μm , sehingga perlu suatu alat khusus untuk mengamatinya.

Mikroba yang sering dipakai pada sistem MFC merupakan bakteri anaerob yang mampu mentransfer langsung elektron ke elektrode. Contoh bakteri yang terdapat pada MFC adalah bakteri seperti *escherichia coli*, *geobacter sp* dan *shewanella* dan lain sebagainya. Gambar 4 merupakan struktur dari bakteri *E-coli*.



Gambar4. Bakteri E-coli

Limbah Air Rebusan Mie Instan

Mie instan merupakan makanan alternatif bagi masyarakat Indonesia sejak tahun awal kemunculannya 1968. Produk mie instan sangat digemari oleh masyarakat diberbagai kalangan karena proses pembuatannya yang relatif mudah dan praktis. Hanya memerlukan waktu kurang lebih 3 menit untuk dapat menikmati produk mie instan.

Mie instan pada umumnya diolah dengan cara direbus dengan air mendidih kemudian diberikan bumbu yang telah disediakan. Air bekas rebusan mie instan merupakan limbah pati. Limbah pati mengandung unsur nabati yang mudah membusuk. Limbah pati yang dibuang dengan keadaan belum disaring dan terbuka dapat menimbulkan pencemaran.

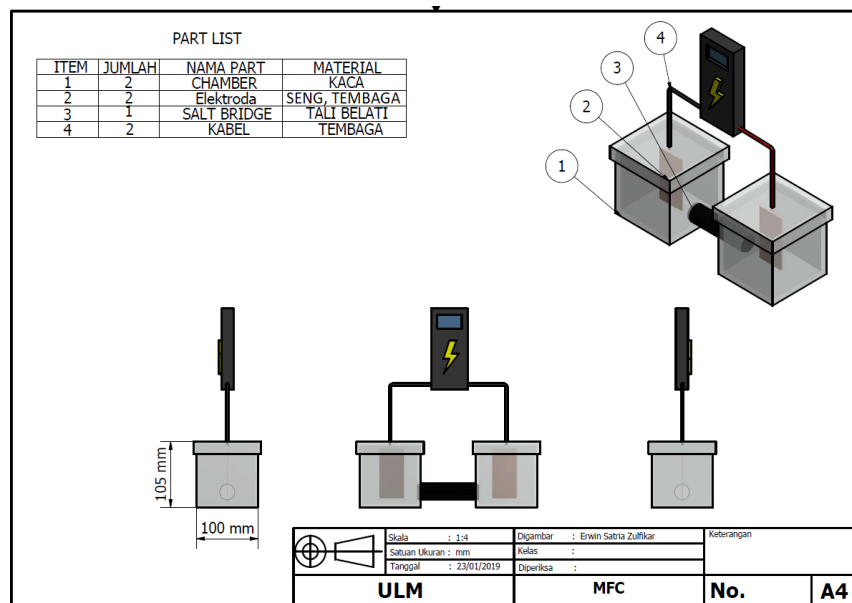
Pada umumnya mie instan yang beredar di pasaran merupakan produk olahan yang mengandung tepung terigu. Komponen penyusun tepung terigu adalah amilum ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$).

Pada umumnya mie instan yang beredar di pasaran merupakan produk olahan yang mengandung tepung terigu. Tepung terigu bukan tergolong sebagai suatu senyawa, oleh sebab itu tepung terigu tidak memiliki rumus kimia spesifik. Namun jika dilihat dari komponen penyusun utamanya tepung terigu adalah amilum ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$). Amilum adalah senyawa karbohidat kompleks yang bersifat larut dalam air. Amilum berbentuk putih rasanya tawar dan tak memiliki bau.

METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam eksperimen ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama yang dilakukan adalah persiapan alat *mikrobal fuel cell*. Alat yang akan digunakan adalah dua buah bejana kaca dengan ukuran 10 cm \times 10 cm \times 11 cm sebanyak dua buah dan dihubungkan dengan sebuah jembatan

garam sepanjang 15 cm. Jembatan garam terbuat dari tali belati. Tali belati disatukan dan direbus pada larutan garam dapur selama 30 menit hingga mengendap kemudian dibungkus dengan *electrical tape*. Pada bagian anoda kompartemen diisolasi dari udara luar menggunakan plastik *wrapping*. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah seng dan tembaga yang masing-masing berukuran 4 cm × 6 cm sebanyak satu buah. Elektroda ini dihubungkan dengan dengan kawat tembaga menggunakan jepitan buaya untuk memudahkan pengukuran. Tahap kedua adalah melakukan preparasi pada substrat. Substrat pada penelitian ini adalah air rebusan mie instan indomie goreng sebanyak 1 L yang telah direbus selama 3 menit. Kemudian air limbah ini dimasukkan kedalam inkubator sebanyak 3 buah dan diinkubasi selama 1 hari, 3 hari dan 1 minggu. Tahap ketiga adalah proses pengambilan data. Data yang diambil pada penelitian ini berupa kuat arus dan tegangan. Alat yang digunakan untuk mengambil data adalah multimeter digital yang telah dihubungkan dengan kabel dan telah dihubungkan dengan elektroda. Pengukuran data yang diambil adalah jumlah kuat arus dan tegangan yang dihasilkan pada alat MFC perjam selama total 12 jam pengujian. Hal yang sama juga dilakukan kepada alat yang telah ditambahkan aerator. Aerator ditambahkan pada bagian katoda, yaitu pada bagian yang terdapat cairan elektrolit. Seperti yang telah dijelaskan diatas berikut dibawah ini adalah desain alat MFC.



Gambar 5. Desain MFC

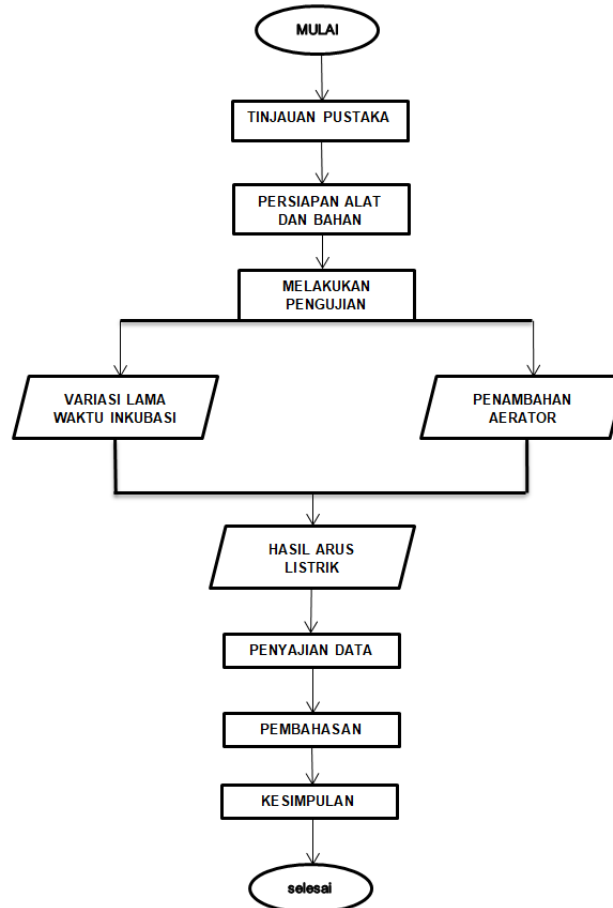
Variabel Penelitian

Pada suatu penelitian, variabel digunakan sebagai objek penelitian atau sebagai fokus terhadap konsep yang dibuat bermacam-macam. Adapun variabel ini terdiri dari variabel bebas, terikat dan kontrol.

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan, pada penelitian ini variabel bebasnya adalah lama waktu inkubasi dan penambahan aerator. Variabel terikat yang terjadi berdasarkan variabel bebas diatas adalah kuat arus dan tegangan.

Diagram Alir Penelitian

Pada saat setelah penentuan judul dilakukan. Penelitian ini diawali dengan peninjauan pustaka berkaitan dengan judul yang akan diambil. Tinjauan ini berupa teori-teori yang relevan sesuai bidang keilmuan baik berupa jurnal nasional maupun jurnal internasional jika diperlukan. Jika semua tinjauan sudah mencukupi maka kegiatan selanjutnya adalah persiapan alat dan bahan *microbial fuel cell*. Kemudian lakukan penelitian berdasarkan variabel-variabel yang ada, pengambilan data serta penarikan kesimpulan berdasarkan rumusan masalah. Untuk memudahkan dalam pembacaan, berikut diagram alur penelitian.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan Pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

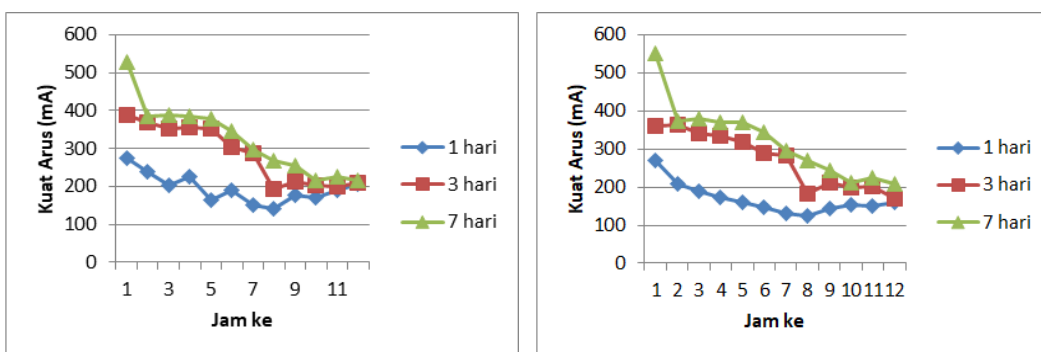
Untuk memudahkan pembacaan dan melihat perubahan yang terjadi pada pengambilan data alat *microbial fuel cell* selama 12 jam terhadap variasi lama waktu inkubasi, maka dibuatlah Tabel 1 yang berisi data kuat arus, tegangan serta penambahan aerator selama proses pengukuran. Alat yang menggunakan aerator disimbolkan dengan lambang **O**, sedangkan yang tanpa menggunakan aerator menggunakan simbol **X**.

Tabel 1. Tabel perbandingan kuat arus dan tegangan terhadap variasi lama waktu inkubasi

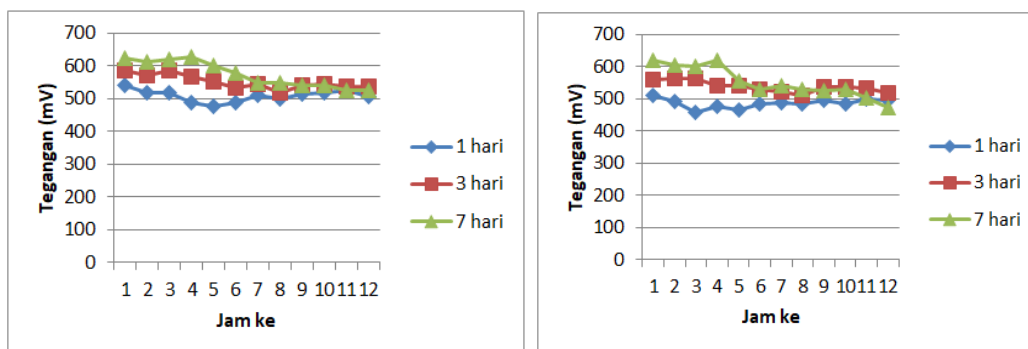
Jam ke	Kuat Arus (mA)						Tegangan (mV)					
	1 Hari		3 Hari		7 Hari		1 Hari		3 Hari		7 Hari	
	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
09:00	274	270	390	360	528	552	540	510	585	560	626	620
10:00	240	209	370	365	384	375	520	492	570	565	613	604
11:00	202	190	352	340	390	380	517	460	588	564	620	602
12:00	225	173	355	334	385	370	490	477	568	543	627	620
13:00	165	160	352	320	380	369	479	467	554	540	600	555
14:00	189	146	303	290	347	343	490	483	534	529	580	530
15:00	151	132	287	283	297	296	511	487	547	522	548	540
16:00	140	125	193	183	269	269	500	483	520	513	550	532
17:00	176	145	213	213	255	245	516	498	543	539	542	526
18:00	170	155	203	199	215	213	519	486	545	538	542	531
19:00	190	150	200	202	225	225	527	500	539	533	527	502
20:00	207	160	170	168	216	210	509	498	538	520	526	475

Hasil Pengukuran Kuat Arus Pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Sesuai variabel yang telah ditentukan yaitu pengaruh variasi lama waktu inkubasi terhadap perolehan listrik. Maka dibuatkan tabel perbandingan perhitungan dari pukul 09:00 pagi, hingga pukul 20:00 malam.



Gambar 7. Perbandingan Kuat Arus dengan Aerator (a), Perbandingan Kuat Arus Tanpa Aerator (b)

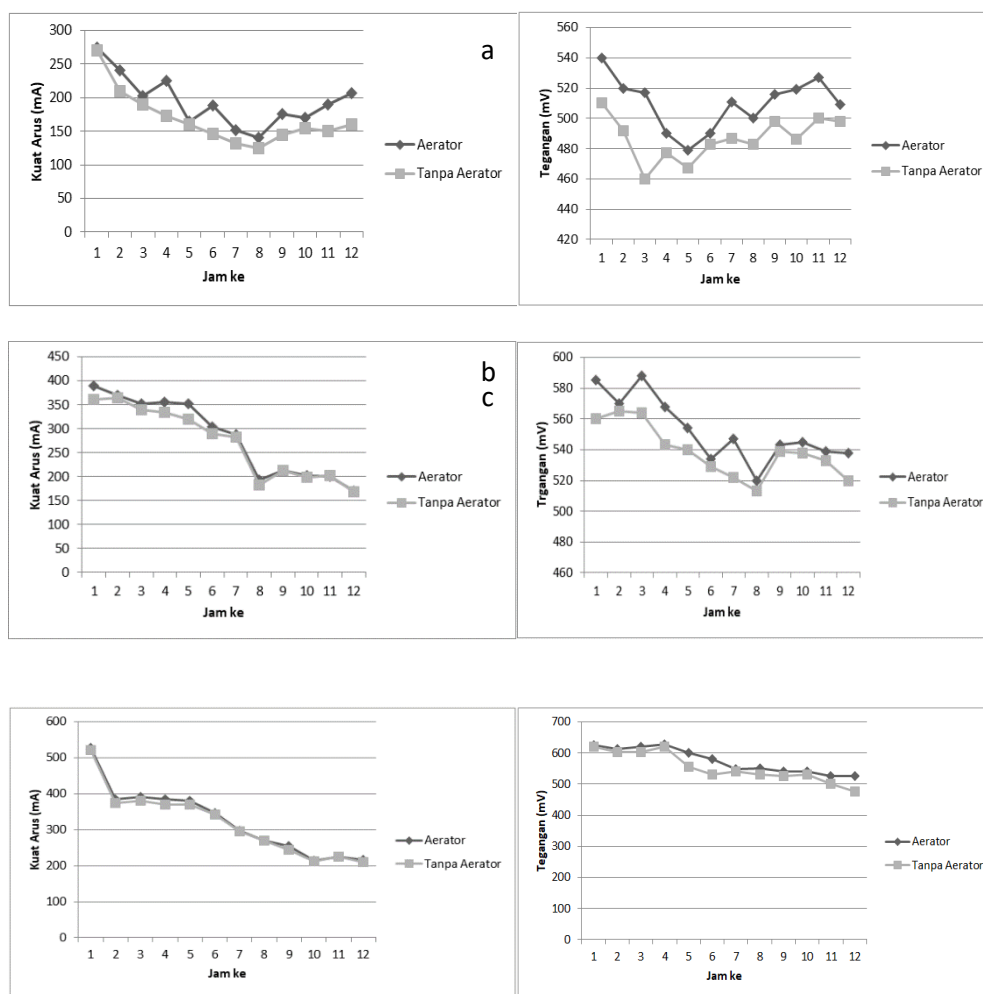


Gambar 8. Perbandingan Tegangan dengan Aerator (a), Perbandingan Tegangan Tanpa Aerator (b)

Limbah air rebusan mie instan dengan waktu inkubasi 7 hari menghasilkan perolehan listrik yang lebih besar dibanding dengan waktu inkubasi 1 hari dan 3 hari. Namun pada substrat dengan waktu inkubasi 7 hari mendapatkan penurunan

nilai tegangan pada jam ke 9. Hal ini disebabkan kian menipisnya sumber nutrisi yang diperlukan mikroba untuk melakukan metabolisme. Pada inkubasi 7 hari arus listrik dan tegangan maksimal yang didapat adalah 528 mA dan 627 mV. Sedangkan, Pada inkubasi 1 hari arus listrik dan tegangan maksimal yang didapat adalah 274 mA dan 540 mV. Pada inkubasi 3 hari arus listrik dan tegangan maksimalnya 390 mA dan 588 mV.

Hasil Perbandingan Aerator dan Tanpa Aerator



Gambar 9. Kuat Arus dan Tegangan Inkubasi 1 hari (a), Kuat Arus dan Tegangan Inkubasi 3 hari (b), Kuat Arus dan Tegangan Inkubasi 7 Hari (c)

Peningkatan terjadi pada alat yang menggunakan aerator yang diletakkan pada bagian katoda. Aerator digunakan sebagai pemasok oksigen tambahan pada bagian katoda atau bagian yang berisi cairan elektrolit. Oksigen sebagai oksidator berperan sebagai akseptor elektron yang berpengaruh langsung dengan keluaran daya listrik yang dihasilkan. Dengan bertambahnya suplai oksigen pada katoda maka semakin bertambah akseptor elektron yang mana akan menambah potensial listrik. Terlihat pada tabel perbandingan, alat yang menggunakan aerator memiliki

output listrik yang lebih banyak dibandingkan dengan alat tanpa menggunakan aerator. Pada 1 hari inkubasi perbedaan antara alat yang menggunakan aerator dan tidak terlihat signifikan, hal demikian juga ditunjukkan pada hari ke 3 inkubasi. Namun terdapat perbedaan dimana pada inkubasi 7 hari perbedaan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan namun penggunaan aerator tetap mengungguli alat yang tanpa menggunakan aerator

Hubungan Jumlah Populasi Mikroba Dengan Perolehan Listrik

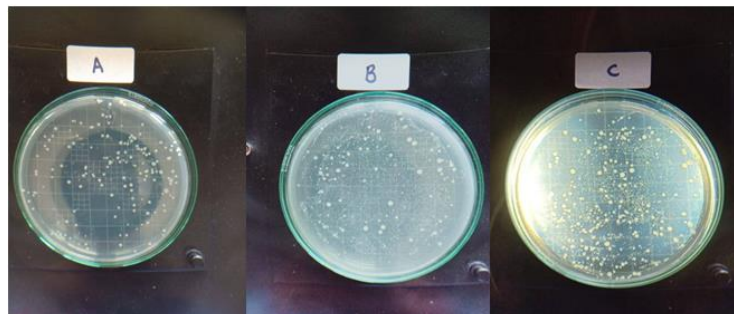
Tabel 2 merupakan hasil pengujian jumlah populasi mikroorganisme pada laboratorium fitopatologi Fakultas Pertanian ULM.

Tabel 2. Hasil Uji Lab Jumlah Populasi Mikroba

No	Hasil Idenfikasi	Populasi Mikroorganisme (cfu/mL)
1	Inkubasi 1 hari	$44,4 \times 10^{13}$
2	Inkubasi 3 hari	$1,06 \times 10^{14}$
3	Inkubasi 7 hari	$1,804 \times 10^{14}$

Setelah semua substrat dimasukkan kedalam alat. Sisa dari substrat tersebut dibawa untuk melakukan pengujian pupulasi mikroba di laboratorium. Dapat dilihat pada tabel hasil ujilab jumlah populasi mikroorganisme diatas, proses perkembangan jumlah koloni mikroorganisme kian hari semakin bertambah. Pada 1 hari inkubasi, jumlah populasi mikroba mencapai $44,4 \times 10^{13}$ colony forming unit per mL, kemudian pada hari ke 3 meningkat $1,06 \times 10^{14}$ cfu/mL, dan puncak pertumbuhan terjadi pada hari ke 7 populasi bakteri mencapai $1,804 \times 10^{14}$ cfu/mL. Hal ini senada dengan hasil perhitungan perbandingan perolehan listrik terhadap variasi lama inkubasi dimana inkubasi hari ke 7 lebih besar dibandingkan dengan inkubasi hari ke 1 dan ke 3.

Dengan hasil uji ini dapat menguatkan pembuktian bahwa semakin bertambahnya jumlah koloni mikroba, maka semakin besar pula *output* listrik yang dihasilkan pada sistem MFC. Namun peningkatan jumlah koloni juga harus sebanding dengan jumlah senyawa organik yang tersisa pada kompartemen. Jika nutrisi yang diperlukan oleh bakteri habis, maka perolehan listrik yang dihasilkan juga pasti menurun.



Gambar10.Foto Hasil Uji Lab 1 Hari, 3 Hari dan 7 Hari

Gambar titik-titik kuning pada Gambar 10 menunjukkan koloni-koloni mikroba yang dihasilkan pada uji lab. Pada 1 hari inkubasi yang dilambangkan dengan huruf “A” terlihat pertumbuhan koloni bakteri yang masih sedikit.

Kemudian dua hari berselang pertumbuhan bakteri mulai terlihat hingga akhirnya pada seminggu inkubasi substrat limbah air rebusan mie instan mendapati puncak pertumbuhannya dapat dilihat pada Gambar dengan simbol “C”.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan telah dianalisis bahwa limbah air rebusan mie instan ternyata dapat digunakan sebagai substrat untuk alat *microbial fuel cell*. Perolehan listrik yang didapat masih relatif kecil. Namun jika diteliti lebih lanjut besar kemungkinan alat *microbial fuel cell* ini dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang efektif dan efisien menggantikan alat penghasil energi yang sudah ada. Nilai listrik pada variasi inkubasi substrat selama 7 hari menghasilkan perolehan listrik yang lebih besar dibandingkan dengan variasi inkubasi 1 hari dan inkubasi substrat selama 3 hari. Pada substrat yang di inkubasi 7 hari kuat arus dan tegangan maksimal yang dihasilkan mencapai 528 mA dan 627 mV. Sedangkan, pada inkubasi 1 hari arus listrik dan tegangan maksimal yang didapat adalah 274 mA dan 540 mV dan pada inkubasi 3 hari arus listrik dan tegangan maksimalnya 390 mA dan 588 mV. Hal ini sebanding dengan hasil uji populasi mikroba 7 hari merupakan puncak pertumbuhan pada variabel ini sebesar $1,804 \times 10^{14}$ cfu/m. Namun tetap perlu diperhatikan jumlah nutrisi yang tersedia untuk membantu pertumbuhan mikroba.

Penambahan aerator pada bagian katoda juga sangat berpengaruh terhadap sistem, yang berdampak dengan meningkatnya kuat arus dan tegangan pada alat Microbial Fuel Cell. Aerator akuarium dapat menambahkan kadar oksigen pada cairan elektrolit. Bertambahnya akseptor elektron pada katoda membuat semakin banyaknya elektron yang ditarik dari bagian anoda menuju katoda. Hal ini tentu menambah potensial listrik yang terjadi pada alat *microbial fuel cell*. Namun juga perlu diperhatikan debit aliran oksigen yang mengalir. Apabila debit terlalu besar maka kemungkinan oksigen akan merembes dan masuk kebagian anoda yang akan berdampaknya pada penurunan kualitas alat MFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Amari S, Vahdati M, Ebadi T. 2015, *Investigation Into Effect Of Cathode Aeration On Output Current Characteristics In A Tubular Microbial Fuel Cell* : Islamic Azad University (IAU) : Iran
- Ieropoulos, I., J, Greenman. 2008. *Microbial Fuel Cell Based On Carbon Veil Electrodes : Stack Configuration And Scalability. International Of Energy Research.*
- Januarita Rizki, Azizah Azka, Ulfa Anis, Syahidah Hilma, Samudro Ganjar. 2015, *Microbial Fuel Cell Pengolah Air Limbah Dan Penghasil Listrik (Alternatif : Limbah Isi Rumen Sapi Dengan Pengaruh Variasi COD Dan PH)* : Universitas Diponegoro, Semarang
- Kristin Ester. 2012, *Produksi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe* : Universitas Indonesia, Depok
- Li A. 2009, *Escherichia Coli With Pili and Flagella*. [http:// nanowerk.com](http://nanowerk.com) [10 maret 2019]
- Liu H. 2008, *Microbial Fuel Cell : Novel Anaerobic Biotechnology For Energi Generation From Waste Water*. *Anaerobic Biotechnology For Bioenergy Production : Principle And Application*. S. K. Khanal. Iowa, Blackwell Publishing :221-243