

Pengaruh Penambahan EM₄ Dan Jarak Elektroda Terhadap Listrik Yang Dihasilkan MFC (Air Lindi)

Effect Of EM₄ Addition And Electrode's Distance Towards Electric That Is Produced By MFC (Leachate)

Evi Kurniati^{1*}, Alexander Tunggul Sutan Haji¹, Cahya Amalia Permatasari²

¹Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

²Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

*Email Korespondensi : evi_kurniati@yahoo.com

ABSTRAK

MFC (*Micobial Fuel Cell*) merupakan suatu sistem bio-elektrokimia yang memanfaatkan metabolisme alami dari mikroba untuk menghasilkan energi. Air limbah yang kaya akan bahan organik *biodegradable* merupakan kandidat ideal sebagai sumber energi berkelanjutan dalam produksi energi listrik melalui MFC diantaranya dapat diperoleh dari lindi. Salah satu faktor yang mempengaruhi tegangan listrik MFC adalah pemberian bakteri dan jarak elektroda. Penelitian ini merupakan penyelidikan eksperimental yang berkaitan dengan pemilihan jarak elektroda dan penambahan EM₄ terhadap kinerja terbaik dari MFC menggunakan substrat air lindi. Metode penelitian ini yaitu metode penelitian komparatif. Mekanisme penelitian dilakukan dengan membuat *prototype* reaktor MFC dengan perlakuan tanpa dan dengan penambahan EM₄, dan jarak elektroda 4 cm dan 8 cm. Hasil penelitian didapatkan bahwa produktivitas listrik tertinggi terdapat pada perlakuan jarak elektroda 4 cm tanpa penambahan EM₄. Perlakuan penambahan EM₄ terbukti menghasilkan beda potensial dan kuat arus yang lebih rendah. Pengaruh jarak elektroda terhadap produktivitas listrik pada penelitian ini berpengaruh. Sistem MFC terbukti mampu menurunkan kandungan BOD dalam air lindi namun perlakuan jarak elektroda dan penambahan EM₄ tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan BOD.

Kata kunci : air lindi, BOD, TPA Supit Urang

ABSTRACT

MFC (*Micobial Fuel Cell*) is a bio-electrochemical system that utilizes natural metabolism from microbe to produce energy. Wastewater that is rich with organic biodegradable matter is an ideal candidate as a sustainable energy source in the production of electrical energy through MFC, that can be obtained from leachate. One of the factors affected MFC's voltage is the addition of bacteria and electrode's distance. This research is an experimental investigation related to the selection of electrode distances and the addition of EM₄ to the best performance of MFC using a lindi water substrate. This study used comparative study method. The mechanism of this study is creating an MFC prototype reactor with an arrangement with/without addition of EM₄; and a distance of electrodes (4 cm and 8 cm). The result shows that the highest electrical productivity is shown at the electrode distance of 4 cm without addition of EM₄. The addition of EM₄ is proven to produce lower electrical productivity. The effect of electrode distance on the electrical productivity has an effect. MFC system is proven to be able to decrease BOD on leachate but the electrode distance's treatment and the EM₄ addition have no significant effects on decreasing BOD.

Keywords : leachate, BOD, supit urang landfill

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi menjadi salah satu masalah yang dihadapi oleh berbagai macam negara begitupun Indonesia. Ketidakseimbangan jumlah ketersediaan dengan tingkat permintaan terhadap energi semakin meningkat sehingga mengakibatkan harga energi semakin meningkat pula. Ketidakseimbangan energi ini memicu pengembangan sumber energi alternatif baru dan terbarukan untuk mensubstitusi penggunaan energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama bagi masyarakat. Sesuai dengan data dari BPPT Outlook Energi Indonesia 2017, konsumsi energi final menurut jenis selama tahun 2010-2015 masih didominasi oleh BBM (bensin, minyak solar, minyak diesel, minyak tanah, minyak bakar, avtur dan avgas) yang mencapai 25%, disusul gas bumi (11%), listrik (11%), batubara (6,2%), LPG (4,8%).

Melihat kondisi tersebut, dibutuhkan penemuan dan pengembangan energi terbarukan, yaitu energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan dan jumlahnya tak terbatas. Salah satu jenis energi terbarukan dan dapat menjadi sumber energi di masa depan adalah *Fuel cell*. *Fuel cell* dapat memproduksi listrik secara terus-menerus dengan tersedianya suplai atau bahan bakar eksternal seperti *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai contohnya. MFC merupakan suatu sistem bio-elektrokimia yang memanfaatkan metabolisme alami dari mikroba untuk menghasilkan energi. Sifat bakteri yang dapat mendegradasi medium organik pada MFC menghasilkan ion elektron dan proton. Proses pada sistem MFC dapat dibantu oleh EM₄ (*Effective Microorganisms 4*) yang mengandung 90% bakteri *Lactobacillus sp.* (bakteri penghasil asam laktat) pelarut fosfat, bakteri fotosintetik, *Streptomyces sp.*, jamur pengurai selulosa dan ragi dan sesuai dengan medium organik yang cocok untuk MFC. Air limbah yang kaya akan bahan organik *biodegradable* merupakan kandidat ideal dan sudah menjadi isu yang hangat sebagai sumber energi berkelanjutan dalam produksi energi listrik melalui MFC di antaranya dapat diperoleh dari air lindi. Melalui MFC, air lindi dapat menjadi

sumber energi alternatif baru dan terbarukan sehingga dapat menurunkan penggunaan energi fosil. Salah satu faktor yang mempengaruhi tegangan listrik MFC adalah pemberian bakteri dan jarak elektroda. Jarak elektroda menentukan besarnya output listrik MFC. Berdasarkan Helder *et al.* (2012) faktor jarak anoda dan katoda menentukan besarnya resistansi internal pada sistem MFC.

Sistem MFC yang prospektif untuk dikembangkan menjadi energi alternatif inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang berjudul "Pengaruh Penambahan *Effective Microorganism 4* (EM₄) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan MFC (Air Lindi)". Penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini merupakan penyelidikan eksperimental yang berkaitan dengan pemilihan jarak elektroda dan penambahan EM₄ terhadap kinerja terbaik dari MFC menggunakan substrat air lindi. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penambahan EM₄ dan jarak elektroda pada reaktor MFC terhadap tegangan serta kuat arus; mengetahui pengaruh sistem MFC terhadap penurunan BOD dalam air lindi; dan mengetahui energi yang dihasilkan pada reaktor MFC pada setiap perlakuan. Harapannya sistem MFC menggunakan substrat air lindi ini dapat memenuhi kebutuhan listrik pada TPA itu sendiri maupun masyarakat sekitar.

BAHAN DAN METODE

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF) dengan dua faktor dan dua kali pengulangan. Faktor pertama yaitu jarak katoda dan anoda terdiri dari jarak 4 (J₁) dan 8 cm (J₂). Faktor kedua yaitu penambahan EM₄ terdiri dari ada (B₁) dan tidaknya penambahan EM₄ (B₀).

Perancangan dan Pembuatan Reaktor

Reaktor yang digunakan merupakan MFC *single chamber* tanpa *membrane* berbahan akrilik berukuran panjang 13 cm, lebar 9,5 cm dan tinggi 6,5 cm dan bagian atasnya tertutup karena proses reaksi memerlukan

keadaan anaerob. Kapasitas reaktor sebesar 800 ml. Bagian dalam reaktor akan tersusun katoda dan anoda dengan jarak sesuai perlakuan. Kompartemen anoda dan katoda hanya memiliki satu ruang yang diisi dengan substrat yaitu air lindi. Komponen penyusun berikutnya yaitu elektroda yang menggunakan karbon (berbentuk tabung dengan diameter 0.7 cm dan tinggi 5 cm) sebagai anoda dan grafit (berbentuk tabung dengan diameter 2 mm dan tinggi 9 cm) sebagai katoda. Luas permukaan karbon dan grafit masing-masing yaitu 11.75 cm² dan 5.7 cm².

Seeding EM₄

EM₄ yang digunakan yaitu EM₄ yang diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Songgolangit Persada. EM₄ terlebih dahulu diaktifkan dengan cara mencampurkan 25 ml EM₄ dengan 500 ml air dan 1/8 sdm gula merah cair, kemudian difermentasikan 2 - 4 hari dalam kondisi tertutup rapat. Dosis tersebut sesuai dengan penelitian Pitriani (2014) yang menjelaskan bahwa EM₄ diaktifkan dengan cara mencampurkan 1 liter EM₄ dengan 20 liter air dan 5 sdm gula merah cair, kemudian difermentasikan 2 - 4 hari.

Pengambilan Air Lindi

Air lindi berasal dari TPA Supit Urang Kelurahan Mulyorejo, Kota Malang, Jawa Timur. Metode pengambilan sampel limbah air lindi yaitu *grab sample*. Sampel ini hanya menggambarkan karakteristik air lindi pada saat sampel diambil. Pengambilan sampel dilakukan pada satu titik. Jumlah air lindi yang diambil sebanyak 10 liter menggunakan gelas ukur dan dituang pada jerigen yang selanjutnya ditutup rapat.

Pemasangan Elektroda pada Reaktor

Katoda dan anoda selanjutnya dipasang pada dasar reaktor secara vertikal dengan menggunakan lem G. Katoda dan anoda diletakkan sesuai dengan jarak pada perlakuan. Jumlah elektroda pada setiap perlakuan jarak yaitu 1 katoda dan 1 anoda.

Penambahan Air Lindi pada Reaktor

Air lindi yang sudah dihomogenkan akan dimasukkan pada reaktor dan diberi dua perlakuan berbeda yaitu tanpa (B₀) dan

dengan penambahan bakteri EM₄ (B₁). Air lindi pada perlakuan B₀ langsung dimasukkan pada 4 reaktor sebanyak 800 ml. Pada perlakuan B₁ berarti dilakukan penambahan 22,4 ml terhadap 3200 ml air lindi pada suatu ember sesuai dengan penelitian Rusmawinda (2003) yang menyatakan dosis optimal EM₄ pada air lindi yaitu 7 ml per 1 liter air lindi lalu diaduk hingga tercampur. Campuran tersebut selanjutnya dimasukkan pada 4 reaktor.

Penutupan Reaktor

Reaktor ditutup rapat menggunakan penutup reactor yang telah dilengkapi oleh lubang untuk katoda dan keluarnya kabel dari rangkaian elektroda yang akan disambungkan pada *data logger*. Setelah reaktor ditutup, seluruh pinggiran penutup dan seluruh lubang dilapisi oleh plastisin agar udara luar tidak masuk ke dalam reaktor.

Pemasangan Data Logger

Data logger digunakan untuk mengukur beda potensial listrik. *Data logger* yang digunakan adalah *Graphtec midi LOGGER GL220*. Kabel yang tersambung oleh katoda dan anoda selanjutnya disambung dengan *data logger* menggunakan jepit buaya. Kabel yang tersambung oleh katoda berwarna merah dan kabel yang tersambung oleh anoda berwarna hitam.

Pengujian Karakteristik Air Lindi

Pengambilan sampel air lindi awal dilakukan dengan mengambil 600 ml air lindi yang sudah dihomogenkan kedalam 1 botol sampel untuk dilakukan pengukuran pH dan pengujian BOD. Pengambilan sampel air lindi setelah diberi perlakuan pun sama (18 botol sampel). Sampel yang telah diambil diawetkan dan dibawa ke Perum Jasa Tirta I, Malang.

Pengujian Produktivitas Listrik

Pengujian produktivitas listrik dilakukan di lokasi penelitian yaitu di Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan Universitas Brawijaya dengan mengukur beda potensial (*data logger*) dan kuat arus listrik (*avometer*) pada kedua ulangan penelitian. Beda potensial listrik diukur

setiap jamnya selama 7 hari. Pengukuran kuat arus listrik diukur pada pukul 08.00 sampai dengan 16.00 dengan interval 1 jam selama 7 hari. Data pengukuran yang didapatkan untuk beda potensial listrik sebanyak 177 data dan untuk kuat arus listrik sebanyak 72 data.

Analisa Hasil

Analisis data yang dilakukan yaitu analisis pH, BOD, dan produktivitas listrik. Selanjutnya juga dilakukan perhitungan hambatan dan kerapatan daya menggunakan persamaan 1 dan 2.

$$\Omega = V/I \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

Ω = hambatan (ohm)
 V = beda potensial listrik (Volt)
 I = kuat arus listrik (Ampere)

$$\text{Kerapatan Daya} = (V \times I) / A \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

Kerapatan Daya = Watt/m²
 V = beda potensial listrik (Volt)
 I = kuat arus listrik (Ampere)
 A = luas permukaan elektroda (m²)

Dilakukan perhitungan daya dan energi menggunakan metode integrasi luasan.

$$P = V \times I \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

P = daya listrik (Watt)
 V = beda potensial listrik (Volt)
 I = kuat arus listrik (Ampere)

$$\int_0^{14} f(t) dt \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

$f(t)$ = fungsi energi terhadap waktu (Watt.Hour)
 t = waktu (jam)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Produktivitas Listrik

A. Beda Potensial Listrik

Hasil pengamatan beda potensial dalam satuan Volt (V) (Gambar 1.). Nilai beda potensial sistem MFC menggunakan air lindi pada setiap perlakuan yang berbeda selama 176 jam mengalami fluktuasi selama pengamatan. Kenaikan rata-rata terjadi pada

24 jam pertama dan selanjutnya mengalami penurunan hingga jam ke-92.

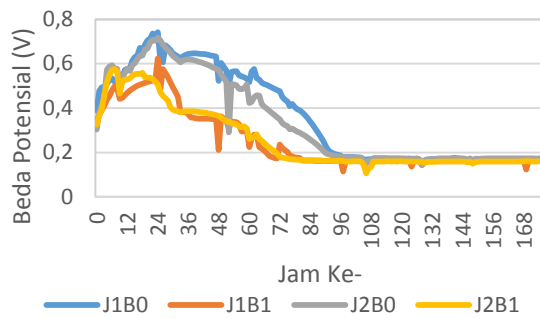
Pada jam ke-92 hingga jam ke-176 nilai beda potensial sistem MFC cenderung stabil. Menurut Logan (2008), peningkatan nilai elektrisitas yang terukur diduga terjadi saat mikroorganisme sedang melakukan pemecahan substrat sederhana di dalam limbah. Penurunan nilai elektrisitas dapat diduga disebabkan ketika mikroorganisme sedang beradaptasi untuk memecah substrat yang lebih kompleks menjadi sederhana.

Nilai beda potensial tertinggi pada penelitian ini terdapat pada perlakuan jarak elektroda 4 cm tanpa penambahan EM₄ yaitu sebesar 0.742 V. Diurutan kedua diikuti oleh perlakuan jarak elektroda 8 cm tanpa penambahan EM₄ sebesar 0.717 V, lalu perlakuan jarak elektroda 4 cm dengan penambahan EM₄ sebesar 0.623V dan terakhir perlakuan jarak elektroda 8 cm dengan penambahan EM₄ sebesar 0.576 V. Menurut Zhang *et al.* (2011), tingginya beda potensial MFC menggunakan substrat air lindi ini dikarenakan air lindi mengandung kandungan organik tinggi dan mengandung bermacam bakteri di dalamnya. Beberapa jenis bakteri yang terdapat pada air lindi antara lain *Protobacteria*, *Firmicutes*, *Thermotoge*, *Spircheates*, dan *Bacteroidetes*. Kultur *Firmicutes* dan *Proteobacteria* memiliki kemampuan berinteraksi dengan anoda untuk menghasilkan arus listrik.

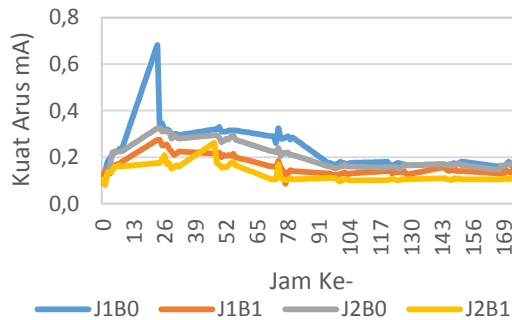
B. Kuat Arus Listrik

Hasil pengamatan kuat arus dalam satuan miliampere (mA) (Gambar 2.). Kuat arus listrik yang dihasilkan pada penelitian ini fluktuatif. Kenaikan terjadi pada 24 jam pertama dan mengalami penurunan hingga jam ke-92. Pada jam ke-92 hingga jam ke-169 nilai kuat arus sistem MFC cenderung stabil dan kembali terlihat ada sedikit kenaikan pada jam ke-169 hingga jam ke-176.

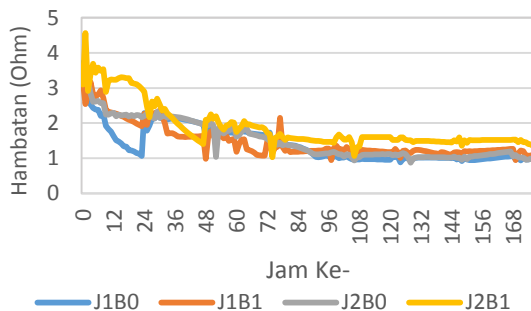
Nilai kuat arus tertinggi pada penelitian ini terdapat pada perlakuan jarak elektroda 4 cm tanpa penambahan EM₄ yaitu sebesar 0.682 mA. Diurutan kedua diikuti oleh perlakuan jarak elektroda 8 cm tanpa penambahan EM₄ sebesar 0.325 mA, lalu perlakuan jarak elektroda 4 cm dengan penambahan EM₄ sebesar 0.275 mA dan terakhir perlakuan jarak elektroda 8 cm dengan penambahan EM₄ sebesar 0.262 mA.



Gambar 1. Grafik hasil pengukuran beda potensial tiap perlakuan

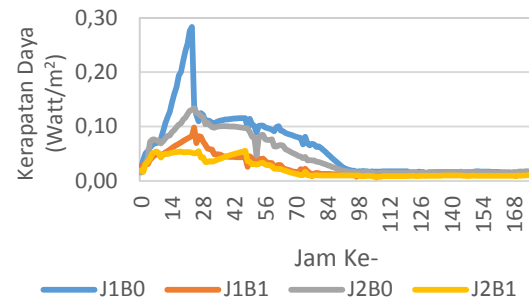


Gambar 2. Grafik hasil pengukuran kuat arus listrik tiap perlakuan

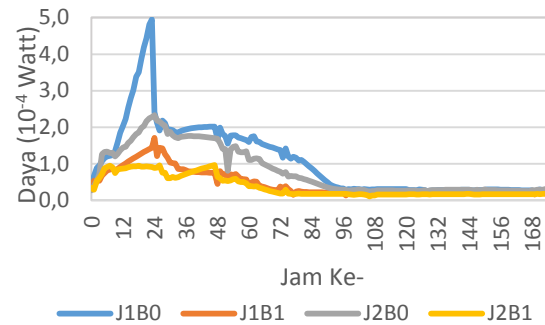


Gambar 3. Grafik hasil rerata hambatan tiap perlakuan

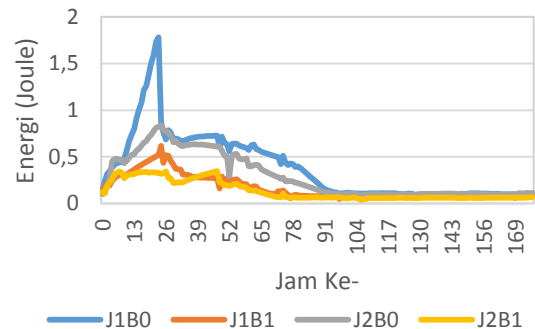
Nilai kuat arus yang didapatkan masih sangat kecil. Menurut Kim *et al.* (2006), nilai kuat arus yang kecil disebabkan terlalu besarnya hambatan yang terdapat dalam rangkaian sistem MFC (Gambar 3.). Salah satu faktor hambatan yang besar ini dapat terjadi karena terbentuknya *biofilm*. *Biofilm* yang terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu dapat menutup elektroda dan meningkatkan hambatan internal anoda sehingga menyebabkan penurunan nilai *power density* yang dihasilkan sistem MFC. Semakin besar hambatan maka semakin kecil beda potensial dan kuat arus yang dihasilkan. Hal ini dapat juga dilihat dari



Gambar 4. Grafik hasil rerata kerapatan daya tiap perlakuan



Gambar 5. Grafik hasil daya listrik tiap perlakuan



Gambar 6. Grafik daya terhadap waktu

kerapatan daya pada penelitian ini (Gambar 4.). Kerapatan daya yang kecil merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecilnya arus yang didapatkan dari sistem MFC (Alwahab, 2017). Perhitungan hambatan dan kerapatan daya dihitung berdasarkan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

Daya Listrik

Nilai Daya listrik dihitung berdasarkan Persamaan (3). Daya listrik yang terukur pun mengalami fluktuasi karena berbanding lurus terhadap beda potensial dan kuat arus (Gambar 5.). Daya listrik mengalami

peningkatan sampai dengan jam ke-24 kemudian turun pada jam berikutnya. Berdasarkan penelitian dari Hassan *et al.* (2018), arus jenis meningkat dengan cepat pada 15 jam pertama. Hal ini diakibatkan oleh tingginya aktivitas bakteri selama masa adaptasi ini dan tingginya nutrisi yang ada di dalam sel pada fase operasi awal MFC. Namun, terjadi penurunan arus jenis yang drastis yang diakibatkan oleh menurunnya ketersediaan nutrisi seiring dengan pertambahan waktu. Perolehan daya listrik selanjutnya terus mengalami penurunan hingga jam ke-96. Menurut penelitian Hassan *et al.* (2018), arus jenis mulai menurun pada 40 jam masa fermentasi dan cenderung stabil ketika melewati batas waktu 60 hingga 90 jam masa fermentasi. Keluaran arus yang stabil pada masa operasi ini disebabkan oleh sifat lenting yang dimiliki oleh konsorsium mikroba yang dapat bertahan hidup walaupun tidak ada nutrisi tambahan untuk dimakan. Pada penghujung grafik apabila dicermati secara lebih detail, terdapat kenaikan daya namun sangat kecil. Menurut Hassan *et al.* (2018), keluaran arus mengalami kenaikan kecil ketika melewati 70 hingga 100 jam masa fermentasi. Kenaikan tersebut diasumsikan bahwa spesies mikroorganisme tertentu mulai bermetabolisme menggunakan material organik yang telah terkonversi.

Hasil daya listrik tertinggi dihasilkan pada perlakuan jarak elektroda 4 cm (J_1) tanpa penambahan EM 4 (B_0). Menurut Logan *et al.* (2015), semakin dekat jarak elektroda maka semakin kecil hambatan sehingga produksi listrik dapat lebih maksimal, namun jarak yang terlalu dekat pun dapat menghasilkan produksi listrik yang kurang baik karena oksigen yang mengalir melalui katoda menyebabkan bakteri eksoelektrogen yang bersifat anaerobik atau anoksik pada anoda menghambat produksi arus listrik dengan adanya oksigen terlarut. Penelitian Hays *et al.* (2011) pun menjelaskan bahwa peningkatan energi listrik dapat dihasilkan meskipun dengan jarak elektroda yang sangat dekat, yaitu dengan menggunakan larutan yang sangat tinggi konsentrasinya seperti asetat. Penelitian MFC pada jarak elektroda yang dekat menunjukkan performa yang kurang stabil dengan larutan

yang cair seperti limbah rumah tangga. Konsentrasi substrat yang tinggi membuat bakteri semakin cepat menghilangkan oksigen dan mengurangi massa transfer oksigen ke anoda atau beberapa eksoelektrogenik berkembang kemampuannya untuk menghasilkan arus listrik.

Tinggi rendahnya produksi listrik yang diperoleh mengikuti fase pertumbuhan bakteri yang ada didalam reaktor MFC (Alwahab, 2017). Pertumbuhan mikroba terjadi dalam empat fase yaitu fase lambat (*lag phase*), fase eksponensial/logaritma (*log phase*), fase stationer/tetap (*stationary phase*) dan fase kematian (*death phase*) (Dwitari, 2008). Berdasarkan orientasi penelitian sebelumnya, fase lag terjadi pada 12 jam pertama masa inkubasi (Rahmawati, 2015). Menurut Reiny (2012), fase log ditandai dengan jumlah bakteri yang terus bertambah. Fase stationer pertumbuhan bakteri menggambarkan beberapa bakteri yang mati dan zat hasil metabolisme mulai menumpuk pada media pertumbuhan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi bakteri pada suatu substrat, maka proses degradasi substrat akan semakin cepat, sehingga ketersediaan nutrisi untuk bakteri pun juga akan lebih cepat habis. Fase kematian ditandai dengan jumlah bakteri yang terus menurun. Hal itu terjadi karena penumpukan hasil metabolisme, nutrisi mulai habis, dan terjadi kompetisi nutrisi. Berdasarkan fase pertumbuhan bakteri tersebut, untuk menjaga perolehan listrik yang maksimal untuk jangka waktu yang panjang sebaiknya dilakukan penambahan substrat pada fase stationer. Penambahan substrat pada fase stationer dilakukan untuk menambahkan suplai nutrisi untuk metabolisme bakteri sehingga bakteri dapat terus tumbuh dan meningkatkan daya listrik sistem MFC.

Energi Listrik Terkonversi

Energi dihasilkan oleh konversi metabolisme mikroba yang ada pada sistem MFC diperoleh dari perhitungan matematis. Energi didapatkan dari hasil perkalian daya yang dihasilkan dengan waktu fermentasi. Metode penentuan besarnya energi listrik terkonversi yang digunakan adalah metode

menghitung luasan grafik yang dihasilkan oleh daya terhadap waktu. Perhitungan besarnya energi dilakukan dengan menghitung hasil integrasi luasan di bawah grafik antara daya terhadap waktu. Besarnya energi yang dihasilkan mengikuti fungsi energi terhadap waktu dengan menggunakan Persamaan (4) dan dapat dilihat pada Gambar 6.

Energi yang dihasilkan pada setiap jamnya mengalami fluktuatif. Fluktuasi yang terjadi berbanding lurus terhadap daya listrik sehingga kenaikan dan penurunan yang terjadi pun sama seperti yang terjadi pada penghasilan nilai daya listrik. Perhitungan energi pada sistem MFC air lindi pada setiap perlakuan pun dihitung energi kumulatifnya agar mengetahui energi total untuk masing-masing perlakuan. Energi total didapatkan dengan menjumlahkan energi pada setiap jamnya.

Tabel 1. Hasil perhitungan energi total tiap perlakuan

Perlakuan	Energi Total (Joule)
J ₁ B ₀	67.312
J ₁ B ₁	29.729
J ₂ B ₀	51.196
J ₂ B ₁	24.011

Total energi tertinggi terdapat pada perlakuan jarak elektroda 4 cm tanpa penambahan EM₄ yaitu 67.312 Joule. Energi total terkecil terdapat pada perlakuan jarak elektroda 8 cm dengan penambahan EM₄. Jika dibandingkan dengan energi pada baterai jenis N bertegangan 1.5 Volt, menurut perhitungan Nisimava (2001) energi pada baterai tersebut yaitu sebesar 2700 Joule untuk 1 jam masa beroperasi sehingga pencapaian energi pada MFC ini masih sangat kecil.

A. Penghasilan Energi Listrik MFC Air Lindi tanpa Penambahan EM₄

Besarnya energi pada sistem MFC menggunakan jarak elektroda 4 cm (J₁) tanpa penambahan EM₄ (B₀) mengikuti persamaan polinomial orde 6 yang tertera pada Gambar 7(a). Adapun fungsi besarnya energi yang diperoleh adalah $y = 6.10^{-14}x^5 - 3.10^{-11}x^4 + 7.10^{-9}x^3 - 6.10^{-7}x^2 + 2.10^{-5}x + 3.10^{-5}$. Persamaan tersebut memiliki koefisien determinasi (R²) sebesar 0.8156. Besarnya energi yang dihasilkan dalam reaktor MFC

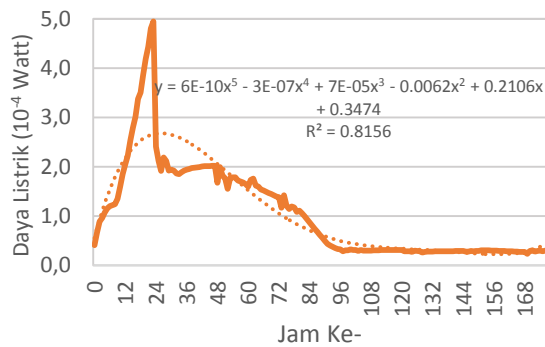
selama 176 jam pada perlakuan tersebut adalah sebesar 67.31 Joule. Energi yang dihasilkan dari air lindi pada sistem MFC dengan jarak elektroda 4 cm paling tinggi dibandingkan dengan energi yang dihasilkan oleh sistem MFC dengan perlakuan lain. Hal ini disebabkan oleh nilai beda potensial dan kuat arus listrik yang dihasilkan oleh sistem MFC dengan jarak elektroda 4 cm lebih besar dibandingkan dengan sistem MFC dengan perlakuan lain.

Besarnya energi listrik pada sistem MFC menggunakan jarak elektroda 8 cm (J₂) tanpa penambahan EM 4 (B₀) mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada Gambar 7(b). Fungsi besarnya energi yang diperoleh adalah $y = -4.10^{-14}x^5 - 2.10^{-11}x^4 + 4.10^{-9}x^3 - 3.10^{-7}x^2 + 9.10^{-6}x + 3.10^{-5}$. Persamaan tersebut memiliki koefisien determinasi (R²) sebesar 0.94. Besarnya energi yang dihasilkan dalam reaktor MFC selama 176 jam pada perlakuan ini adalah sebesar 51.196 Joule. Energi total tersebut merupakan energi total tertinggi kedua. Hal ini menunjukkan bahwa daya dan energi tertinggi didominasi oleh perlakuan tanpa penambahan EM 4.

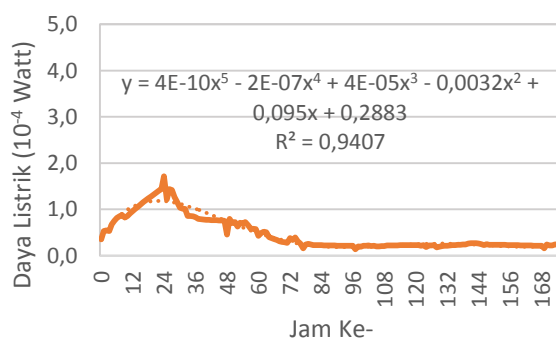
Hasil energi kumulatif pada Gambar 7(a) sebesar 67.312 Joule dan Gambar 7(b) sebesar 51.196 Joule dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Virginia (2018) menggunakan MFC substrat kulit pisang menghasilkan energi sebesar 74.5 Joule. Lebih besarnya energi yang dihasilkan pada MFC menggunakan kulit pisang disebabkan oleh tingginya kandungan lemak, protein, dan karbohidrat yang mencapai 91.50% dari massa kering bahan. Kulit pisang juga mengandung kalium sebesar 55.23 - 63.52 mg.kg⁻¹ yang berperan sebagai bahan baku makanan makhluk hidup dan berperan penting dalam proses dekomposisi material organik.

B. Penghasilan Energi Listrik MFC Air Lindi dengan Penambahan EM₄

Besarnya energi listrik pada sistem MFC menggunakan jarak elektroda 4 cm (J₁) dengan penambahan EM 4 (B₁) mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada Gambar 8(a). Adapun fungsi besarnya energi yang diperoleh adalah $y = 4.10^{-14}x^5 - 2.10^{-11}x^4 + 5.10^{-9}x^3 - 4.10^{-7}x^2 + 2.10^{-5}x + 2.10^{-5}$.



(a)

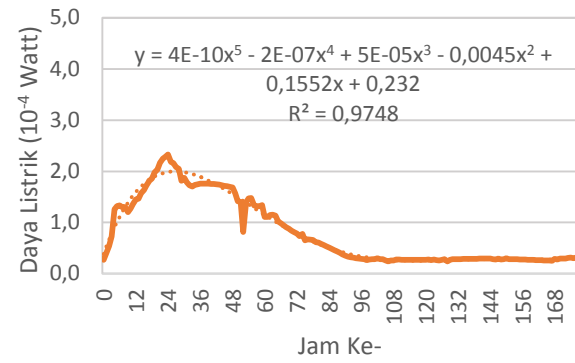


(b)

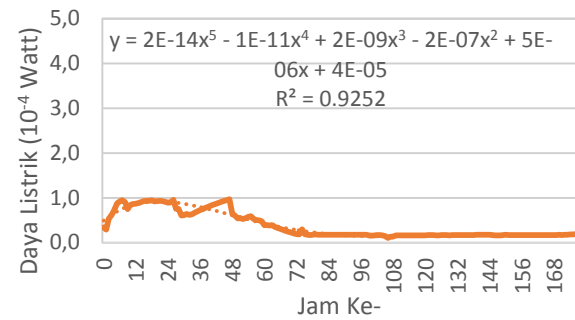
Gambar 7. Grafik daya listrik pada tanpa penambahan EM₄ (a) jarak elektroda 4 cm (b) jarak elektroda 8 cm

Persamaan tersebut memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.974. Besarnya energi yang dihasilkan dalam reaktor MFC selama 176 jam pada perlakuan tersebut adalah sebesar 29.729 Joule. Energi yang dihasilkan pada perlakuan ini merupakan energi tertinggi ketiga. Dengan perlakuan yang sama yaitu penambahan EM 4, jarak elektroda 4 cm masih lebih unggul dibandingkan dengan hasil energi pada jarak elektroda 8 cm.

Besarnya energi listrik pada sistem MFC menggunakan jarak elektroda 8 cm (J_2) dengan penambahan EM 4 (B_1) mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada Gambar 8(b). Adapun fungsi besarnya energi yang diperoleh adalah $y = 2.10^{-14}x^5 - 1.10^{-11}x^4 + 5.10^{-9}x^3 - 2.10^{-7}x^2 + 5.10^{-6}x + 4.10^{-5}$. Persamaan tersebut memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.925. Besarnya energi yang dihasilkan dalam reaktor MFC selama 176 jam pada perlakuan ini adalah sebesar 24.011 Joule. Energi yang dihasilkan pada perlakuan ini merupakan energi



(a)



(b)

Gambar 8. Grafik daya listrik pada dengan penambahan EM 4 (a) jarak elektroda 4 cm (b) jarak elektroda 8 cm

terendah dibandingkan dengan energi pada perlakuan lain. Hasil energi pada perlakuan ini terendah karena beda potensial dan kuat arus yang dihasilkan pada perlakuan ini pun memiliki hasil terendah.

Hasil energi kumulatif pada Gambar 8(a) sebesar 29.729 Joule dan Gambar 8(b) sebesar 24.011 Joule dibandingkan dengan MFC menggunakan substrat kulit jeruk seperti yang telah diteliti sebelumnya oleh Virginia (2018) dimana dalam waktu 7 hari sistem MFC tersebut menghasilkan energi sebesar 21.031 Joule. Energi yang dihasilkan oleh MFC kulit jeruk ini lebih rendah disebabkan oleh serat selulosa pada kulit jeruk memberikan beban lingkungan yang lebih besar terhadap mikroorganisme untuk melakukan proses degradasi (Miran *et al.*, 2016).

Hasil Karakterisasi Air Lindi

Hasil dari pengujian karakterisasi air lindi meliputi dua parameter, yaitu nilai BOD dan pH. Nilai BOD diperoleh dari selisih

konsentrasi oksigen terlarut sebelum (DO_0) dan setelah inkubasi (DO_5) (Atima, 2015). Nilai pH didefinisikan sebagai konsentrasi ion hidrogen dalam air (Kadir, 2015). Nilai BOD awal air lindi sebesar 931.7 mg/L. Nilai BOD yang didapat masih cukup jauh diatas baku mutu air lindi yang ditetapkan. Nilai pH masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

Tabel 2. Hasil pengujian awal air lindi

Parameter	Baku Mutu	Karakteristik Awal
BOD ($mg.L^{-1}$)	150	931.7
pH	6-9	8.2

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/ Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

Nilai BOD Air Lindi

Air lindi yang diambil di TPA Supit Urang memiliki bau yang tidak sedap serta berwarna gelap. Hal tersebut dijelaskan oleh Khoirunnisa (2017), bahwa tingginya nilai BOD dalam air limbah dapat ditandai salah satunya dengan bau tidak sedap. Hal tersebut disebabkan oleh pemecahan bahan organik yang tidak berjalan dengan baik. Nilai BOD pada air lindi pun cukup tinggi dan melebihi baku mutu yang ditetapkan.

Tabel 3. Kadar BOD pada jam ke-176

Perlakuan	BOD (mg/L)	
J ₁	563.57	± 162.09
J ₂	606.05	± 120.64
<i>P-Value</i>	0.68	
B ₀	541.52	± 155.79
B ₁	628.10	± 112.97
<i>P-Value</i>	0.40	
J ₁ B ₀	477.70	± 123.03
J ₁ B ₁	649.45	± 184.90
J ₂ B ₀	605.35	± 203.43
J ₂ B ₁	606.75	± 47.72
<i>P-Value</i>	0.71	

Hasil pengujian mengenai pengaruh jarak elektroda dan EM₄ terhadap penyisihan kadar BOD diolah dengan dilakukan *T test* dan uji ANOVA. Perbedaan variasi jarak elektroda, penambahan EM₄, dan interaksi antara keduanya tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata

terhadap nilai BOD. Menurut Rizky (2013), kemampuan mikroorganisme mendegradasi limbah akan berkurang seiring dengan berkurangnya nutrisi yang berasal dari limbah air lindi tersebut. Hal ini menyebabkan mikroorganisme mati sehingga tidak mengalami penurunan konsentrasi BOD yang cukup signifikan.

Nilai BOD akhir merupakan karakteristik air lindi setelah dilakukan pengolahan melalui sistem MFC selama 176 jam. Hasil akhir pengujian BOD masih berada diatas baku mutu namun tampak jelas mengalami penurunan dari nilai BOD awal. Menurut Alwahab (2017), penurunan terjadi karena kandungan senyawa organik menurun akibat aktifitas mikroba selama sistem MFC berlangsung. Aktifitas mikroba tersebut menghasilkan elektron yang menjadi sumber energi listrik yang mengalir dari anoda ke katoda. Semakin besar nilai BOD semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Apabila dilihat pengaruh jarak elektroda dan penambahan EM₄ terhadap nilai BOD, maka penurunan paling maksimal terjadi pada jarak elektroda 4 cm dan tanpa adanya penambahan EM₄.

Tabel 4. Efisiensi penyisihan BOD

Jarak Elektroda	Efisiensi Penyisihan BOD (%)
J ₁ B ₀	48.72
J ₁ B ₁	30.29
J ₂ B ₀	35.02
J ₂ B ₁	34.87

Tabel 5. Pengaruh perlakuan jarak elektroda dan EM₄ terhadap kadar BOD

Perlakuan	P-value	Keterangan
J	0.68	Tidak Berbeda Nyata
B	0.40	Tidak Berbeda Nyata
JB	0.71	Tidak Berbeda Nyata

Keterangan: P-Value < 0.05 = berbeda nyata; P-Value > 0.05 = tidak berbeda nyata.

Hasil perhitungan didapatkan dengan membandingkan nilai BOD sebelum dilakukannya pengolahan dengan sistem

MFC dengan nilai BOD setelah dilakukannya pengolahan (Tabel 4). Efisiensi penyisihan BOD tertinggi yaitu pada perlakuan jarak elektroda 4 cm dengan tanpa penambahan EM₄. Hasil pengujian mengenai pengaruh jarak elektroda dan EM₄ terhadap penyisihan kadar BOD diolah dengan dilakukan T test dan uji ANOVA (Tabel 5). Perbedaan variasi jarak elektroda, penambahan EM₄, dan interaksi antara keduanya tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap nilai BOD. Menurut Rizky (2013), kemampuan mikroorganisme mendegradasi limbah akan berkurang seiring dengan berkurangnya nutrisi yang berasal dari limbah air lindi tersebut. Hal ini menyebabkan mikroorganisme mati sehingga tidak mengalami penurunan konsentrasi BOD yang cukup signifikan.

Nilai pH Air Lindi

Nilai pH setelah mendapat perlakuan mengalami penurunan mendekati pH normal. Nilai pH yang menurun mendekati pH normal sesuai dengan Utari (2014) yang menyebutkan bahwa, pada MFC pH tidak hanya mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroba tapi juga terhadap transfer proton, reaksi katoda, sehingga mempengaruhi performa MFC. Sebagian besar MFC beroperasi pada pH mendekati netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukann listrik. Dalam buku karangan Ginting (2008), proses perombakan berlangsung dengan baik pada pH 6.5 - 8.5. Namun dalam reaktor sering terjadi perubahan pH menjadi naik yang mana disebabkan oleh fotosintesis dan reduksi sulfat, sedangkan yang menyebabkan penurunan pH adalah proses oksidasi, nitrifikasi dan pengeringan serta faktor kimia (misal: adanya senyawa toksik atau senyawa kimia lainnya). Penjelasan lebih lanjut dijelaskan oleh Paramita *et al* (2012), yang menyatakan bahwa peningkatan pH terjadi pada tahap awal degradasi yakni hidrolisis senyawa organik seperti karbohidrat menjadi glukosa. Setelah itu, terjadi proses asidogenesis dan asitogenesis yang menyebabkan penurunan nilai pH akibat dihasilkannya asam-asam

organik seperti asam butirat, propionat dan asetat.

Tabel 6. Kadar pH pada jam ke-176

Perlakuan	pH		
J ₁ B ₀	7.60	±	0.00
J ₁ B ₁	7.70	±	0.14
J ₂ B ₀	7.55	±	0.07
J ₂ B ₁	7.65	±	0.07

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan EM₄ tidak berpengaruh pada peningkatan tegangan dan kuat arus yang dihasilkan.
2. Pengaruh jarak elektroda terhadap tegangan dan kuat arus listrik memberikan perbedaan hasil pada peningkatan beda potensial dan kuat arus listrik dimana pada jarak elektroda 4 cm beda potensial dan kuat arus listrik memiliki hasil tertinggi.
3. Sistem MFC mampu menurunkan kandungan BOD dalam air lindi namun perbedaan variasi jarak elektroda, penambahan EM₄ dan interaksi antara keduanya tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap nilai BOD.
4. Energi listrik yang dihasilkan pada reaktor MFC menggunakan air lindi tertinggi terjadi pada perlakuan tanpa penambahan EM₄ dengan jarak elektroda 4 cm 67.312 Joule dan pada jarak elektroda 8 cm sebesar 51.196 Joule. Selanjutnya pada perlakuan dengan penambahan EM₄ pada jarak elektroda 4 cm energi yang dihasilkan sebesar 29.729 Joule dan pada jarak elektroda 8 cm sebesar 24.011 Joule.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwahab. 2017. Profil Energi Listrik Terbarukan Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell dari Beberapa Substrat Potensial. Tesis. Universitas Halu Oleo. Kendari
- Atima W. 2015. BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education* 4(1).

Kurniati, *et al.*

- Dwitari S. R. 2008. *Teknologi Pangan*. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta
- Ginting P. 2008. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Penerbit Yrama Widya. Bandung
- Hassan H., Jin B., Donner E., Vasileiadis S., Saint C., Dai S. 2018. Microbial community and bioelectrochemical activities in MFC for degrading phenol and producing electricity: microbial consortia could make differences. *Chemical Engineering Journal* 332 (2018), 647–657.
- Hays S., Zhang F., Logan B.E. 2011. Performance of two different types of anodes in membrane electrode assembly microbial fuel cells for power generation from domestic wastewater. *Journal of Power Sources*. 196, 8293-8300.
- Helder M., Strik D., Hamelers H., Buisman C., 2012. The flat-plate plant microbial fuel cell: the effect of new design on internal Resistances. *Biotechnology for Biofuels*. 5(70)
- Kadir A. 2015. *Buku Pintar Pemrograman Arduino*. Penerbit Mediacom. Yogyakarta
- Khoirunnisa. 2017. *Pengolahan Air Limbah dan Produksi Biolistrik Pada lahan Basah Dengan Metode Plant Microbial Fuel Cell (PMFC) Pada Berbagai Tanaman*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Kim G.T., Webster G., Wimpenny J.W.T., Kim B.H., Kim H.J., Weightman A.J. 2006. Bacterial community structure, compartmentalization and activity in a microbial fuel cell. *J. Appl. Microbiol* 101, 698–710.
- Logan B.E. 2008. *Microbial Fuel Cells*. Hoboken. Wiley (USA)
- Logan B.E., Wallack M.J., Kim K.Y., He W., Feng Y., Saikaly P.E. 2015. Assesment of microbial fuel cell configurations and power densities. *Environmental Science Technology Lett*, 2, 206-214
- Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan
- Nisimava K. 2001. Energy of A 1.5 V Battery. *The Physics Factbook*.
- Paramita P., Shovitri M., Kuswytasari N.D. 2012. Biodegradasi limbah organik pasar dengan menggunakan mikroorganisme alami tangki septik. *jurnal sains dan seni its*, 1, 23-26
- Pitriani, Daud A., Jafar N. 2014. Efektivitas Penambahan EM4 pada Biofilter Anaerob-Aerob dalam Pengolahan Air Limbah RS. UNHAS. Universitas Tadulako. Palu
- Rahmawati M. 2015. Uji Aktivitas Antimikroba Ekstrak Etanol dan Air Rimpang Pacing (*Costus spiralis*) Terhadap Bakteri *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, serta Fungi *Candida albicans*. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta
- Reiny S.S. 2012. Potensi *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4796 sebagai biopreservatif pada rebusan daging ikan tongkol. *Jurnal IJAS*, 2(2), 604–613.
- Rizky K.A. 2013. Pengaruh penambahan EM-4 (*Effective Microorganisms-4*) terhadap Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Tahu. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Solo
- Rusmawinda. 2003. Dosis Efektif EM4 (*Effective Microorganism 4*) dalam Penurunan Kandungan BOD5 (*Biochemical Oxygen Demand 5*) pada Lindi TPA Jatibarang Semarang. Universitas Diponegoro. Semarang
- Utari N.D. 2014. Pemanfaatan Limbah Buah - Buah sebagai Penghasil Energi Listrik dengan Teknologi *Microbial Fuel Cells* (Variasi Penambahan Ragi Dan Asetat). Universitas Diponegoro. Semarang
- Virginia C. 2018. Analisis Produktivitas Listrik dari Biomassa Limbah Kulit Pisang dan Limbah Kulit Jeruk dengan Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai Alternatif

Kurniati, *et al.*

Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan

Pengelolaan Limbah Padat Domestik.
Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang

Zhang W., Yue B., Wang Q., Huang Z.,
Huang Q., Zhang F. 2011. Bacterial
community composition and
abundance in leachate of semi-aerobic
landfill. *Journal of Environment Sciences*,
23(11), 1770-1777.