PENGARUH PENAMBAHAN *EFFECTIVE MICROORGANISM* 4 (EM 4) DAN JARAK ELEKTRODA TERHADAP TEGANGAN SERTA KUAT ARUS LISTRIK YANG DIHASILKAN *MICROBIAL FUEL CELL* MENGGUNAKAN AIR LINDI TPA SUPIT URANG MALANG

SKRIPSI

Oleh :
CAHYA AMALIA PERMATASARI
155100901111040

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Tugas Akhir	:	Pengaruh Penambahan *Effective Microorganism* 4 (EM 4) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan *Microbial Fuel Cell* Menggunakan Air Lindi TPA Supit Urang Malang
Nama Mahasiswa	:	Cahya Amalia Permatasari
NIM	:	155100901111040
Jurusan	:	TEP / Teknik Lingkungan
Fakultas	:	Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,	Pembimbing Kedua,
Dr. Eng. Evi Kurniati, STP. MT.	**Dr. Ir. A. Tunggul Sutan Haji, MT.**
NIP. 19760415 199903 2 001	NIP. 19620814 198701 1 001
Tanggal Persetujuan :	Tanggal Persetujuan :
.....	.....

Scanned with CamScanner

repository.ub.ac.id
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	:	Pengaruh Penambahan *Effective Microorganism* 4 (EM 4) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan *Microbial Fuel Cell* Menggunakan Air Lindi TPA Supit Urang Malang
Nama Mahasiswa	:	Cahya Amalia Permatasari
NIM	:	155100901111040
Jurusan	:	TEP / Teknik Lingkungan
Fakultas	:	Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I,

Dr. Eng. Evi Kurniati, STP. MT.

NIP. 19760415 199903 2 001

Dosen Penguji II,

Dr. Ir. A. Tunggul Sutan Haji, MT.

NIP. 19620814 198701 1 001

Dosen Penguji III,

Fajri Anugroho STP, M.Agr, Ph.D

NIP. 20120173032810001

Ketua Jurusan

La Choviya Hawa, STP, MP., Ph.D.

NIP. 19780307 200012 2 001

Tanggal Lulus TA :

Scanned with CamScanner
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tembagapura pada tanggal 30 Juni 1997 dari bapak bernama Santosa dan ibu bernaman Karminah. Penulis merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara, memiliki 1 kakak laki-laki bernama Khusnul Aidil Santosa. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di Yayasan Pendidikan Jayawijaya Kuala Kencana selama 6 tahun dan lulus pada tahun 2009 kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertaman di Yayasan Pendidikan Jayawijaya Kuala Kencana dan lulus pada tahun 2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 9 Malang dengan tahun kelulusan tahun 2015.

Pada Tahun 2019 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingginya di Universitas Brawijaya Malang di Program Studi Teknik Lingkungan. Pada masa pendidikannya, penulis aktif sebagai Asisten Praktikum Perancangan dan Manajemen Daerah Aliran Sungai 2018. Selain aktif dalam bidang akademik penulis juga aktif dalam bidang non-akademik, aktif dalam organisasi Keprofesian KMTL FTP UB menjadi staff departemen kewirausahaan pada Kabinet Adhibrata periode 2016-2017 dan menjadi wakil ketua departemen kewirausahaan pada Kabinet Dinamis periode 2017-2018. Penulis juga mengikuti UKM bidang olahraga Baseball-Softball Brawijaya menjadi bendahara pada kepengurusan tahun 2016 dan menjadi sekretaris pada kepengurusan tahun 2017-2018.

“So verily with the hardship there is relief, verily with the hardship there is relief. – (Q.S Al-Insyirah: 5-6)”

Alhamdulillahirabbilalamin

Dengan Rahmat Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Tugas Akhir ini saya persembahkan sebagai karya bagi keluarga tercinta dan seluruh sahabat yang selalu mendukung saya.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

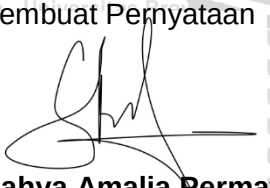
Nama Mahasiswa	:	Cahya Amalia Permatasari
NIM	:	155100901111040
Program Studi	:	Teknik Lingkungan
Jurusan	:	TEP / Teknik Lingkungan
Fakultas	:	Teknologi Pertanian
Judul Tugas Akhir	:	Pengaruh Penambahan *Effective Microorganism* 4 (EM 4) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan *Microbial Fuel Cell* Menggunakan Air Lindi TPA Supit Urang Malang

Menyatakan bahwa,

TA dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut di atas. Apabila di kemudia hari terbukti pernyataan ini tidak benar saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Malang, 24 Juli 2019

Pembuat Pernyataan



Cahya Amalia Permatasari

NIM. 155100901111040

repository.ub.ac.id

Cahya Amalia Permatasari. 155100901111040. Pengaruh Penambahan *Effective Microorganism* 4 (EM 4) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan *Microbial Fuel Cell* Menggunakan Air Lindi TPA Supit Urang Malang. Pembimbing: Dr. Eng. Evi Kurniati, STP. MT. dan Dr. Ir. Alexander Tunggul Sutan Haji, MT.

RINGKASAN

Ketersediaan energi menjadi salah satu masalah yang dihadapi oleh berbagai macam negara begitupun Indonesia. Masalah ini memicu pengembangan sumber energi alternatif baru dan terbarukan untuk mensubtitusi penggunaan energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama bagi masyarakat. Salah satu jenis energi terbarukan dan dapat menjadi sumber energi di masa depan adalah *Microbial Fuel cell* (MFC). MFC merupakan suatu sistem bio-elektrokimia yang memanfaatkan metabolisme alami dari mikroba untuk menghasilkan energi. Proses pada sistem MFC dapat dibantu oleh bakteri EM 4 (*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 diantaranya dapat diperoleh dari air lindi. Salah satu faktor yang mempengaruhi tegangan listrik MFC adalah pemberian bakteri dan jarak elektroda. Jarak elektroda menentukan besarnya *output* listrik MFC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan EM 4 dan jarak elektroda pada MFC terhadap tegangan serta kuat arus, mengetahui pengaruh sistem MFC terhadap penurunan BOD dalam air lindi, dan mengetahui energi listrik yang dihasilkan pada sistem MFC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode penelitian komparatif. Mekanisme penelitian ini dilakukan dengan membuat *prototype* reaktor MFC dengan perlakuan tanpa dan dengan penambahan EM 4 dan jarak elektroda 4 cm dan 8 cm

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

dilanjutkan dengan melakukan pengukuruan produktivitas listrik yang dihasilkan sistem MFC dan melakukan uji karakteristik air lindi sebelum dan sesudah MFC. Dosis EM 4 yang ditambahkan pada air lindi yaitu 7ml/L. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan untuk mengetahui perlakuan mana yang memiliki produktivitas listrik tertinggi. Pada hasil penelitian didapatkan bahwa produktivitas listrik tertinggi terdapat pada perlakuan jarak elektroda 4 cm tanpa penambahan EM 4. Perlakuan penambahan EM 4 terhadap hasil beda potensial dan kuat arus terbukti menghasilkan beda potensial dan kuat arus yang lebih rendah. Sedangkan pada pengaruh jarak elektroda terhadap beda potensial dan kuat arus listrik pada penelitian ini berpengaruh dimana pada jarak elektroda 4 cm beda potensial dan kuat arus listrik memliki hasil tertinggi. Sistem MFC terbukti mampu menurunkan kandungan BOD dalam air lindi namun perlakuan jarak elektroda dan penambahan EM 4 tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan BOD. Energi listrik yang dihasilkan pada reaktor MFC menggunakan air lindi tertinggi yaitu pada perlakuan tanpa penambahan EM 4 dengan jarak elektroda 4 cm 67.312 Joule dan pada jarak elektroda 8 cm sebesar 51.196 Joule. Selanjutnya pada perlakuan dengan penambahan EM 4 pada jarak elektroda 4 cm energi yang dihasilkan sebesar 29.729 Joule dan pada jarak elektroda 8 cm sebesar 24.011 Joule.

Kata Kunci: Air lindi, *Effective Microorganism* 4 (EM 4), *Microbial Fuel Cell* (MFC).

Cahya Amalia Permatasari. 155100901111040. The Effect of *Effective Microorganism* 4 (EM 4) Addition and Electrode's Distance towards Voltage and Electric Current that is Produced by *Microbial Fuel Cell* using Leachate at TPA Supit Urang Malang. Supervisors: Dr. Eng. Evi Kurniati, STP. MT. dan Dr. Ir. Alexander Tunggul Sutan Haji, MT.

SUMMARY

The availibility of energy has become one of important problems in Indonesia and many countries. This problem triggers the development of new and renewable sources energy to substitute the usage of fossil energy which has been a main source of energy. One of the renewable energy that can become a new source of energy in the future is Microbial Fuel Cell (MFC). MFC is a bio-electrochemical system that utilizes natural metabolism from microbe to produce energy. The process of MFC's system can be assisted by EM 4 (Effective Microorganism 4) bacteria that consists of 90% *Lactobacillus sp.* (lactic acid-producing bacteria), phosphate solvent, photosynthetic bacteria, *Streptomyces sp*, cellulose-composer fungi, yeast, and all of bacteria suitable for MFC. Wastewater that is rich with organic biodegradable matter is an ideal candidate and has become a warm issue 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. Electrode's distance can determine the amount of MFC electrical output. This study aims to find out the effect of EM 4 addition and electrode's distance of the MFC towards voltage and electrical current, to find out the effect of MFC system towards BOD reduction on leachate, and to find out electrical energy produced by MFC system. This study used comparative study method. The mechanism of this study is creating an MFC prototype reactor with an arrangement

with/without addition of EM 4 and a distance of electrodes which is 4 cm and 8 cm, followed by electrical productivity measuring and conducting the leachate's characteristic before and after MFC. The EM 4 dose added to leachate is 7ml / L. The data is then compared to find out which treatment has highest electrical productivity. The result of this study shows that the highest electrical productivity is shown at the electrode distance of 4 cm without addition of EM 4. The addition of EM 4 towards the electrical productivity is proven to produce lower electrical productivity. While the effect of electrode distance on the electrical productivity has an effect where at the 4 cm electrode distance the electrical productivity has the highest result. By this result, MFC system is proven to be able to decrease BOD on leachate but the electrode -distance's treatment and the EM 4 addition have no significant effects on deacresing BOD. The highest electrical energy produced in MFC reactor using leachate is in the treatment without addition of EM 4 with 4 cm electrode distance which is 67.312 Joule and at 8 cm electrode distance which is 51.196 Joule. Furthermore, the energy produce in the treatment with addition of EM 4 with 4 cm electrode distance is 29.729 Joule and at 8 cm electrode distance is 24.011 Joule.

Kata Kunci: Effective Microorganism 4 (EM 4), Leachate, Microbial Fuel Cell (MFC)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul "Pengaruh Penambahan *Effective Microorganism* 4 (EM 4) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan *Microbial Fuel Cell* Menggunakan Air Lindi TPA Supit Urang Malang" dapat tersusun dengan baik.

Tujuan penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Penyusunan proposal skripsi ini tidak lepas dari dukungan, dorongan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas anugerahNya, Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ibu Dr. Eng. Evi Kurniati, STP. MT. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan izin, bantuan dan bimbingan, serta kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Alexander Tunggul Sutan Haji, MT. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bantuan dan bimbingan, serta kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Fajri Anugroho, STP., M.Agr., Ph.D selaku dosen penguji dan Ketua Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan bimbingan serta kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Orang tua penulis, Bapak Santosa dan Ibu Karminah yang terlah memberi dukungan materi dan moral sehingga Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik.

6. Kakak penulis, Khusnul Aidil Santosa serta keluarga yang memberi dukungan kepada penulis.
7. Farida Elita D. Pardede, Ihsan Kamaludin, Amira Rizky Nadhifa, Ruth Marganda Napitupulu, Baithqi Putraka, M. Rahmanda Lintang, Ratnasita Alwiyah Uzla, Dita Endah, Edho Yoga, Bagus Prasetyo Ajie sebagai sahabat yang telah menemani penulis sejak awal masa perkuliahan sampai sekarang.
8. BPH KMTL Dinamis yang telah memberi penulis semangat, motivasi, dan kebersamaan selama masa perkuliahan.
9. BPH dan BPI Baseball-Softball Brawijaya yang telah memberi membersamai penulis selama masa perkuliahan ini.
10. Teman-teman Teknik Lingkungan UB 2015 dan Teknik Lingkungan UB 2014 yang telah membersamai perjalanan perkuliahan, praktikum, bermain, bertukar pikiran, membantu penelitian serta motivator.
11. Semua pihak yang telah membantu memberikan masukan dan dorongan kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun yang dapat digunakan untuk kebaikan dikemudian hari. Penulis berharap semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, 24 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN ii
LEMBAR PENGESAHAN iii
RIWAYAT HIDUP iv
HALAMAN PERUNTUKAN v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR vi
RINGKASAN vii
SUMMARY ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR LAMPIRAN xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 *Microbial Fuel Cell* 7
2.1.1 Prinsip Kerja MFC 8
2.1.2 *Microbial Fuel Cell Single Chamber*/MFC Satu Bejana 9
2.1.3 Elektroda 11
2.1.4 Kompartemen Anoda dan Katoda 12
2.3 Air Lindi 13

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.4 *Effective Microorganism* (EM 4) 16
2.3 TPA Supit Urang 18
2.4 *Biological Oxygen Demand* (BOD) 19
2.5 pH 21
2.6 Penelitian Terdahulu 21
BAB III METODE PENELITIAN 25
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 25
3.2 Alat dan Bahan 26
3.2.1 Alat 26
3.2.2 Bahan 26
3.2.3 Desain Alat 26
3.3 Metode Penelitian 27
3.4 Rancangan Penelitian 28
3.5 Prosedur Penelitian 29
3.5.1 Studi Pustaka 30
3.5.2 Perumusan Masalah 30
3.5.3 Persiapan Alat dan Bahan 31
3.5.4 Pengujian Karakteristik Air Lindi 35
3.5.5 Pengujian Produksi Listrik 36
3.5.6 Analisa Hasil dan Pembahasan 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Hasil Produktivitas Listrik 39
4.1.1 Beda Potensial Listrik 39
4.1.2 Kuat Arus Listrik 40
4.1.3 Daya Listrik 43
4.2 Energi Listrik Terkonversi 46

4.2.1 Penghasilan Energi Listrik Air Lindi tanpa Penambahan EM 4 47
4.2.2 Penghasilan Energi Listrik Air Lindi dengan Penambahan EM 4 50
4.3 Hasil Karakterisasi Air Lindi 52
4.3.1 Nilai BOD Air Lindi 52
4.3.2 Nilai pH Air Lindi 55
BAB V PENUTUP 57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 67

DAFTAR TABEL

Nomor **Teks** **Halaman**

Tabel 2.1 Karakteristik Air Lindi 14
Tabel 2.2 Komposisi EM 4 17
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian 28
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Energi Total tiap Perlakuan..... 47
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Awal Air Lindi 52
Tabel 4.3 Kadar BOD pada Jam Ke-176 53
Tabel 4.4 Efisiensi Penyisihan BOD 54
Tabel 4.5 Kadar pH pada Jam Ke-176 55

DAFTAR GAMBAR

Nomor **Teks** **Halaman**

Gambar 2.1 Prinsip Kerja MFC 9
Gambar 2.2 Skema Desain Kompartemen MFC 10
Gambar 2.3 Layout TPA Supit Urang 19
Gambar 3.1 Peta TPA Supit Urang 25
Gambar 3.2 Peta Lab Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan 25
Gambar 3.3 Rancangan Reaktor MFC 27
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian 29
Gambar 3.5 Reaktor MFC Single Chamber 32
Gambar 3.6 Karbon dan Grafit 32
Gambar 3.7 Graphtec midi Logger GL220 35
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran Beda Potensial tiap Perlakuan 40
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengukuran Kuat Arus Listrik tiap Perlakuan 40
Gambar 4.3 Grafik Hasil Hambatan tiap Perlakuan 42
Gambar 4.4 Grafik Hasil Kerapatan Daya tiap Perlakuan 42
Gambar 4.5 Grafik Hasil Daya Listrik tiap Perlakuan 43
Gambar 4.6 Grafik Daya terhadap Waktu 46
Gambar 4.7 Grafik Daya Listrik Tanpa Penambahan EM 4 49
Gambar 4.8 Grafik Daya Listrik Dengan Penambahan EM 4 51

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor **Teks** **Halaman**

Lampiran 1. Metode Pengujian BOD di Perum Jasa Tirta 1 Malang 67
Lampiran 2. Data Pengukuran Beda Potensial 71
Lampiran 3. Data Pengukuran Kuat Arus Listrik 80
Lampiran 4. Perhitungan Hambatan Listrik 89
Lampiran 5. Perhitungan Kerapatan Daya 108
Lampiran 6. Perhitungan Daya Listrik 119
Lampiran 7. Perhitungan Energi pada Perlakuan J1B0 125
Lampiran 8. Perhitungan Energi pada Perlakuan J2B0 131
Lampiran 9. Perhitungan Energi pada Perlakuan J1B1 137
Lampiran 10. Perhitungan Energi pada Perlakuan J2B1 143
Lampiran 11. Hasil BOD Awal Air Lindi TPA Supit Urang 149
Lampiran 12. Hasil BOD Akhir Air Lindi TPA Supit Urang 151
Lampiran 13. Uji ANOVA terhadap BOD 159
Lampiran 14. Hasil Uji pH Air Lindi Awal dan Akhir 160

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 mensubtitusi 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) mencapai 25%, disusul gas bumi (11%), listrik (11%), batubara (6,2%), LPG (4,8%). Energi final BBM masih akan mendominasi kebutuhan energi nasional dalam kurun waktu 2015-2050 akibat penggunaan teknologi saat ini yang masih berbasis BBM, terutama di sektor transportasi. Sektor-sektor pengguna lainnya pun tidak terlepas dari penggunaan BBM karena teknologinya cukup efisien. Pemanfaatan BBM meningkat dengan laju pertumbuhan 4,7% per tahun. Demikian juga dengan kebutuhan batubara pada tahun 2050, kebutuhannya meningkat tajam sebesar lebih dari 7 kali lipat (skenario dasar) atau lebih dari 10 kali lipat (skenario tinggi) terhadap tahun 2015. Hal ini terjadi karena harga batubara yang kompetitif dan pesatnya perkembangan industri berbasis batubara (semen, kertas, tekstil, dan lainnya).

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, *Microbial Fuel Cell* (MFC) 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. Medium organik yang dapat digunakan pada sistem MFC tersedia melimpah di alam seperti glukosa, pati, asam lemak, asam amino, dan air limbah dari manusia dan hewan (Liu, 2014). Proses pada sistem MFC dapat dibantu oleh EM 4 (*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 sesuain dengan medium organik yang cocok untuk MFC. Dengan memanfaatkan metabolisme dari bakteri, MFC dapat memproduksi arus listrik dari berbagai substrat organik. Hampir semua bahan organik *biodegradable* dapat digunakan dalam MFC, termasuk asam volatil, karbohidrat, protein, alkohol, dan bahkan bahan yang relatif rekalsitran seperti selulosa. 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.

Lindi adalah limbah cair sebagai akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan limbah/sampah kemudian membilas dan melarutkan materi yang ada dalam timbunan tersebut, sehingga memiliki variasi kandungan polutan organik dan anorganik (Saleh, 2014). Air lindi dapat merembes melalui tanah dan dimungkinkan pula akan mencemari air tanah yang ada di lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Perembesan ini sangat tergantung dari sifat fisik tanah dasar TPA seperti porositas, permeabilitas dan tekanan piezometrik. Air lindi akan

merembes melalui tanah secara perlahan, jika terdapat aliran air tanah di bawah lokasi TPA, maka air lindi akan mencemari aliran tersebut dengan kandungan zat yang cukup berbahaya bagi lingkungan. 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 (EM 4) dan Jarak Elektroda terhadap Tegangan serta Kuat Arus Listrik yang Dihasilkan *Microbial Fuel Cell* Menggunakan Air Lindi TPA Supit Urang Malang**". Penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini merupakan penyelidikan eksperimental yang berkaitan dengan pemilihan jarak elektroda dan penambahan *Effective Microorganisme* 4 terhadap kinerja terbaik dari MFC menggunakan substrat air lindi. Harapannya sistem MFC menggunakan substrat air lindi ini dapat memenuhi kebutuhan listrik pada TPA itu sendiri maupun masyarakat sekitar.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *Effective Microorganism* 4 dan jarak elektroda pada reaktor MFC terhadap tegangan serta kuat arus?
2. Bagaimana pengaruh sistem MFC terhadap penuruan BOD dalam air lindi?

3. Berapa energi listrik yang dihasilkan pada reaktor MFC pada setiap perlakuan?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan *Effective Microorganism* 4 dan jarak elektroda pada reaktor MFC terhadap tegangan serta kuat arus.
2. Mengetahui pengaruh sistem MFC terhadap penuruan BOD dalam air lindi.
3. Mengetahui energi yang dihasilkan pada reaktor MFC pada setiap perlakuan.

1.4 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak yaitu:

1. Bagi Akademisi/Mahasiswa
   Sebagai peningkatan, pengembangan dan penerapan ilmu pengetahuan peneliti tentang limbah cair TPA dan informasi bahwa air lindi dapat diolah menjadi listrik dan sebagai bentuk pengabdian insan akademis dalam pembelajaran pemberdayaan masyarakat sebagai wujud Tridharma Perguruan Tinggi.
2. Bagi Masyarakat
   Memberi pengetahuan bagi masyarakat mengenai pengelolaan limbah cair TPA dengan menerapkan konsep MFC dan dapat menjadi salah satu solusi dalam pengolahan limbah cair TPA di lingkungan secara nyata.
3. Bagi Pemerintah
   Sebagai salah satu solusi alternatif bagi pemerintah dalam pengolahan limbah cair TPA, sehingga dapat membantu pemerintah dalam mewujudkan lingkungan yang sehat dan nyaman untuk ditinggali oleh masyarakat kedepannya.
4. Bagi Pengelola TPA
   Sebagai salah satu solusi alternatif yang menguntungkan bagi pengelola TPA dalam mengolah limbah cair yang dihasilkan secara mandiri yang mengendepankan konsep

teknologi bersih serta mengurangi biaya penggunaan listrik melalui listrik cadangan yang dihasilkan dari sistem MFC.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan membuat replika reaktor MFC menggunakan karbon grafit sebagai elektroda dan air lindi sebagai substrat. Pengujian yang dilakukan berupa kuat arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh MFC dan uji BOD dan pH pada air lindi sebelum dan sesudah perlakuan. Perlakuan yang dilakukan berupa penambahan EM 4 dan jarak elektroda.

(Halaman ini senngaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1 *Microbial Fuel Cell*

Sel bahan bakar atau *fuel cell* adalah alat yang menghasilkan energi listrik secara elektrokimia. Seperti halnya sel elektrokimia, sel bahan bakar memiliki anoda katoda, dan elektrolit (Hasanah, 2009). Salah satu *fuel cell* berbasis biologi adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC) (Hoogers, 2002).

Microbial fuel cells merupakan salah satu tipe *biofuel cells*. Beberapa tipe *biofuel cells* yang ada antara lain *microbial fuel cells* dan *enzymatic fuel cells* (Kim *et al*., 2002). *Microbial Fuel Cells* (MFCs) merupakan sistem atau alat yang menggunakan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik. Elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang kemudian ditransfer ke anoda (kutub negatif) dan dialirkan ke katoda (kutub positif) yang disambungkan oleh perangkat konduktivitas termasuk resistor, atau dioperasikan dibawah muatan untuk menghasilkan listrik yang dapat menjalankan alat. Aliran positif pengukur arus mengalir dari kutub positif ke negatif, arah yang berlawanan dengan aliran elektron (Logan *et al.,* 2006).

MFC memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat menghasilkan listrik dari sampah organik dan biomassa terbarui. Bakteri mampu menjadi katalis dan beradaptasi dengan baik terhadap bahan organik berbeda yang terdapat pada limbah lingkungan sehingga menghasilkan elektron (Loveley, 2006). Penggunaan katalis yang digunakan pada fuel cell biasanya berupa platina, yang dinilai merupakan investasi mahal, sedangkan pada MFC dapat digantikan oleh pertumbuham mikroorganisme.

1.1.1 Prinsip Kerja MFC

Prinsip kerja sistem MFC adalah bakteri pada bejana anoda mentransfer elektron dari donor elektron ke elektroda anoda (Logan *et al*., 2006). Bakteri yang hidup pada bejana anoda mengkonversi substrat seperti glukosa, asetat dan juga limbah cair menjadi CO_2, proton dan elektron. Bejana anoda berada dalam kondisi anaerobik dan bakteri harus mengubah penerima elektron alaminya menjadi penerima elektron *insoluble* seperti anoda. Penerimaan elektron ke anoda berlangsung melalui kontak langsung, kabel-kabel nano (*nanowires*) atau pengangkut elektron yang dapat larut. Selama produksi elektron, proton juga diproduksi dalam jumlah banyak. Proton ini bermigrasi melalui *Cation Exchange Membrane* (CEM) ke bejana katoda. Elektron mengalir dari anoda melalui hambatan luar ke katoda tempat bereaksinya penerima elektron (oksigen) dengan proton (Logan *et al*., 2006). Prinsip kerja dari sistem MFC lebih jelasnya akan ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.

Reaksi yang terjadi pada sistem MFC dengan contoh substrat asetat adalah sebagai berikut:

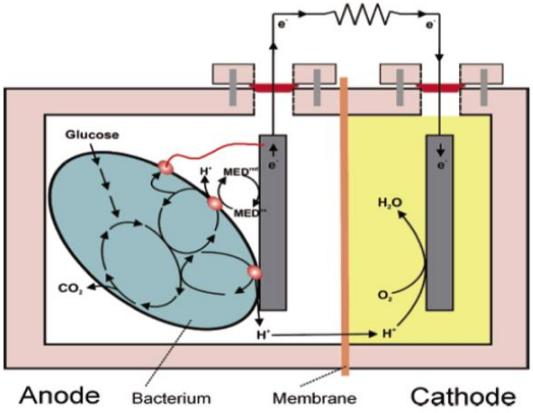
reaksi pada anoda : $CH_3COO^- + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 7H^+ + 8e^-$

reaksi pada katoda : $O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$

Keseluruhan reaksi yang terjadi merupakan degradasi substrat menjadi karbondioksida, air dan pada saat yang bersamaan dihasilkan listrik sebagai hasil samping. Berdasarkan reaksi pada elektroda, bioreaktor MFC dapat menghasilkan listrik dari aliran elektron di anoda ke katoda melalui rangkaian eksternal (Du *et al*., 2007).

Sistem MFC harus mempunyai substrat yang dapat dioksidasi di bagian anoda. Elektron dapat ditransfer ke anoda oleh mediator elektron, membran yang terhubung langsung dengan transfer elektron, atau dengan *nanowires* yang dihasilkan oleh bakteri (Logan *et al*., 2006). Pada sistem MFC, substrat

merupakan faktor penting dalam efisiensi produksi listrik. MFC dapat dioperasikan pada suhu ruang dan dapat didesain untuk keperluan pada suhu mikroba dapat hidup. MFC dapat mengekstrak hampir 90% elektron dari komponen organik dan dapat berkelanjutan sendiri serta terbarukan saat terjadi kepadatan mikroorganisme yang menghasilkan energi melalui transfer elektron ke elektroda (Lovley, 2006).



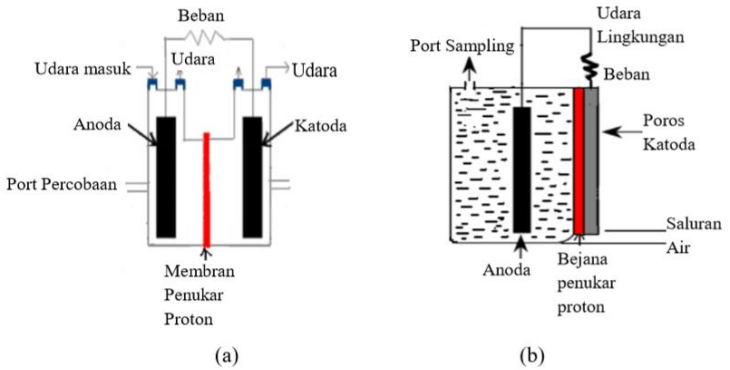
Gambar 2. 1 Prinsip Kerja MFC (Logan *et al*., 2006).

1.1.2 *Microbial Fuel Cell Single Chamber*/MFC Satu Bejana

Menurut Irpan (2018), berdasarkan desain kompartemennya MFC terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *dual chamber* MFC, *single chamber* MFC dan *stack* MFC. *Dual chamber* MFC memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh membran penukar kation (PEM) atau jembatan garam. Ruang anoda merupakan ruangan yang berisi substrat dan bakteri, sementara ruang anoda berisi larutan elektrolit. *Single chamber* MFC hanya memiliki satu ruang sehingga membuat substrat dan larutan elektrolit bercampur sekaligus. Desain ini bisa menggunakan PEM ataupun tanpa PEM. Skema desain kompartemen MFC ditunjukkan dalam **Gambar 2.2**. *Stack* MFC

merupakan rangkaian dari beberapa unit MFC baik *dual chamber* maupun *single chamber* yang dirangkaikan secara seri, paralel, maupun seri paralel. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kapasitas daya yang bisa diproduksi.

Microbial Fuel Cell tanpa membran merupakan salah satu alternatif untuk meminimalisir biaya yang terpakai. Sistem membran yang mahal dan rumit dapat dihindari dengan memanfaatkan adanya perkembangan biofilm yang terjadi di permukaan katoda. Biofilm merupakan sebuah populasi bakteri yang bisa berfungsi sebagai membran untuk meminimalisir difusi oksigen ke anoda. Densitas daya yang lebih tinggi dapat diperoleh pada sistem MFC tanpa membran, karena kemampuan sistem dalam menurunkan hambatan internal.



Gambar 2. 2 Skema Desain Kompartemen MFC a) Desain *dual chamber* MFC b) Desain *single chamber* MFC

Microbial fuel cells satu bejana memiliki keuntungan yaitu desain sederhana, dapat meningkatkan energi listrik, dan kemampuan untuk menggunakan udara pasif dalam penurunan oksigen dibandingkan dengan desain dua bejana (Logan, 2008). *Microbial fuel cells* satu bejana katoda menghadap udara digunakan untuk memproduksi energi yang tinggi dengan

memanfaatkan oksigen yang ada diudara tanpa membutuhkan aerasi dari limbah cair (Zhang *et al*., 2014).

1.1.3 Elektroda

Pertimbangkan pemilihan bahan elektroda terhadap antara lain stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukkan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga faktor, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem (Arytadi, 2007). Material elektroda yang handal adalah karbon, nikel dan titanium yang bisa dibuat seperti *plate compact grafit*, balok, granul dan karbon *glassy* (Logan, 2006).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Adjani (2014), menunjukkan bahwa elektroda terbaik yang mampu menghasilkan rataan elektrisitas tertinggi adalah alumunium dan karbon grafit dengan nilai masing-masing sebesar 0,23 Volt dan 0,19 Volt. Namun diketahui bahwa alumunium memiliki resistansi yang lebih lemah dibandingkan dengan karbon grafit terhadap korosi yang ditimbulkan oleh asam atau basa. Selain itu, elektroda karbon grafit memiliki sifat tahan terhadap air dan pelarut organik serta memiliki luas permukaan tertentu. Hasil studi yang dilakukan oleh Sinaga (2014) menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan elektroda, maka semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dumas (2007) pun menjelaskan salah satu jenis elektroda yang banyak digunakan dalam aplikasi teknologi MFC adalah elektroda karbon. Karbon memiliki sifat berpori yang akan meningkatkan luas permukaan dan membuat gaya adesi mikroba terhadap elektroda meningkat. Permukaan yang akan ditempeli mikroba membuat elektron langsung mengalir dari membran luar sel (tanpa melalui medium tanah berair). Elektroda karbon memiliki efektivitas yang lebih baik dibandingkan elektroda logam. Logam memiliki permukaan halus yang padat (pori sangat

halus) dan mudah terkorosi (teroksidasi). Salah satu penanggulangan jika memakai logam adalah harus *stainless steel* sedangkan harganya menjadi meningkat.

1.1.4 Kompartemen Anoda dan Katoda

Dua jenis reaktor yang banyak digunakan, yaitu reaktor dua kompartemen yang dipisahkan dengan *Proton Exchange Membran* dan terdiri dari ruang anoda dan katoda yang terpisah dan reaktor satu kompartemen yang telah dikembangkan untuk mengefisienkan desain reaktor MFC (Du *et al*., 2007). MFC memiliki kompartemen anoda dan katoda dimana dalam kompartemen anoda, bakteri mengurai glukosa dan menghasilkan CO_2, elektron dan proton. Elektron dialirkan ke katoda melalui rangkaian eksternal, sementara proton mengalir melalui membran menuju katoda untuk kemudian bereaksi kembali dengan oksigen membentuk air (Prambadi, 2013).

Kompartemen anoda dalam MFC dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron (*mediator-less*) dimana elektron yang dihasilkan dari degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme disalurkan menuju elektroda langsung tanpa bantuan zat kimia tambahan. Elektron yang dihasilkan ditransfer melalui sirkuit eksternal dari anoda menuju katoda yang didalamnya terdapat larutan elektrolit sebagai aseptor elektron sehingga menimbulkan tegangan listrik. Semakin banyaknya interaksi bakteri dengan elektroda dalam kompartemen anoda maka jumlah elektron yang ditangkap juga meningkat dan menambah nilai pada tegangan. Salah satu cara untuk meningkatkan produksi listrik adalah dengan memperkecil hambatan internal yang diberikan komponen-komponen yang ada dalam sistem. Perluasan permukaan elektroda juga dapat meningkatkan produksi listrik karena akan semakin banyak electron yang ditransfer ke katoda (Nurhakim *et al*., 2016).

1.2 Air Lindi

Air lindi (*leachate*) atau air luruhan sampah merupakan tirisan cairan sampah hasil ekstrasi bahan terlarut maupun tersuspensi. Air lindi merupakan air dengan konsentrasi kandungan organik yang tinggi yang terbentuk dalam *landfill* akibat adanya air hujan yang masuk ke dalam *landfill* (Priyono, 2008). Air lindi merupakan cairan yang sangat berbahaya karena selain kandungan organiknya tinggi, juga dapat mengandung unsur logam (seperti Zn, Hg) (Satyani, 2005). Jika tidak ditangani dengan baik, air lindi dapat merembes ke dalam tanah sekitar *landfill* kemudian dapat mencemari air tanah di sekitar *landfill*.

Air lindi yang berada di permukaan tanah dapat menimbulkan polusi pada air tanah dan air permukaan, hal ini dikemukakan oleh Ehrig (1993), sebagai berikut :

1. Air permukaan yang terpolusi oleh air lindi dengan kandungan zat organik tinggi, pada proses penguraian secara biologis akan menghabiskan kandungan oksigen dalam air dan akhirnya seluruh kehidupan dalam air yang tergantung oleh keberadaan oksigen terlarut akan mati.
2. Air tanah yang terpolusi oleh air lindi dengan konsentrasi tinggi, polutan tersebut akan berada dan tetap ada pada air tanah tersebut dalam jangka waktu yang lama, karena terbatasnya oksigen terlarut sehingga sumber air yang berasal dari air tanah tidak sesuai lagi untuk air bersih.

Karakter air lindi bervariasi tergantung dari proses yang terjadi di dalam *landfill*, yang meliputi proses fisik, kimia dan biologis. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses yang terjadi di *landfill* antara lain jenis sampah, lokasi *landfill*, hidrogeologi dan sistem pengoperasian. Faktor tersebut sangat bervariasi pada suatu tempat pembuangan yang satu dengan yang lainnya, begitu pula aktivitas biologis serta proses yang terjadi pada timbunan sampah baik secara aerob maupun

anaerob (Ali, 2011). Karakteristik air lindi ditampilkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Lindi

Parameter	Satuan	Range
COD	mg/liter	150 – 100000
BOD_5	mg/liter	100 – 90000
Ph	-	5,3 – 8,5
Alkalinitas	(mg CaCO3/liter)	300 – 11500
Hardness	(mg CaCO3/liter)	500 – 8900
NH_4	mg/liter	1 – 1500
N-Organik	mg/liter	1 – 2000
N-Total	mg/liter	50 – 5000
NO_3 (Nitrit)	mg/liter	0,1 – 50
NO_2 (Nitrat)	mg/liter	0 – 25
P-Total	mg/liter	0,1 – 30
PO_4	mg/liter	0,3 – 25
Ca	mg/liter	10 – 2500
Mg	mg/liter	50 – 1150
Na	mg/liter	50 – 4000
K	mg/liter	10 – 2500
SO_4	mg/liter	10 – 1200
Cl	mg/liter	30 – 4000
Fe	mg/liter	0,4 – 2200
Zn	mg/liter	0,05 – 170
Mn	mg/liter	0,4 – 50
CN	mg/liter	0,04 – 90
Aox[a]	µg/liter	320 – 3500
Phenol	mg/liter	0,04 – 44
As	µg/liter	5 – 1600

Parameter	Satuan	Range
Cd	µg/liter	0,5 – 140
Co	µg/liter	4 – 950
Ni	µg/liter	20 – 2050
Pb	µg/liter	8 – 1020
Cr	µg/liter	300 – 1600
Cu	µg/liter	4 – 1400
Hg	µg/liter	0,2 - 50

Sumber: Balai Laboratorium Kesehatan Surabaya (2005)

Air lindi yang berasal dari timbunan sampah yang masih baru, biasanya ditandai oleh kandungan asam lemak volatile dan rasio BOD dan COD yang tinggi, sementara air lindi dari timbunan sampah yang lama akan mengandung BOD, COD dan konsentrasi pencemar yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena dari timbunan sampah yang masih baru, biodegradasi umumnya berlangsung cepat yang ditandai dengan kenaikan produksi asam dan penurunan pH air lindi yang mengakibatkan kemampuan pelarutan bahan-bahan pada sampah oleh air menjadi tinggi. Perbandingan BOD dengan COD pada timbunan sampah yang masih baru akan berkisar 0,4 % sampai 0,8 %, nilai akan lebih besar pada fase methanogenesis. Degradasi material sampah di *landfill* disebabkan karena proses biologi. Perubahan secara fisik dan kimiawi dan juga produksi air lindi dan produksi gas berhubungan langsung dengan aktivitas biologis di dalam *landfill* (Ali, 2011).

Air lindi dapat digolongkan sebagai senyawa yang sulit didegradasi, karena mengandung bahan-bahan polimer (makro molekul) dan bahan organik sintetik (Suprihatin 2002 in Sulinda, 2004). Pada umumnya air lindi memiliki nilai rasio BOD5/COD sangat rendah (<0,4). Nilai rasio yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa bahan organik yang terdapat dalam air lindi bersifat sulit untuk didegradasi secara biologis. Angka

perbandingan yang semakin rendah mengindikasikan bahan organik sangat sulit terurai (Alaerts dan Santika, 1984).

1.3 *Effective Microorganism 4 (EM 4)*

Effective Microorganism 4 (EM 4) merupakan mikroorganisme (bakteri) pengurai yang dapat membantu dalam pembusukan sampah organik. EM 4 berisi sekitar 80 genus mikroorganisme fermentasi, di antaranya bakteri fotositetik, *Lactobacillus sp*., *Streptomyces sp*., *Actinomycetes sp*. dan ragi. EM 4 digunakan untuk pengomposan modern. EM 4 diaplikasikan sebagai inokulan untuk meningkatkan keragaman dan populasi mikroorganisme di dalam tanah dan tanaman yang selanjutnya dapat meningkatkan kesehatan, pertumbuhan, kualitas dan kuantitas produksi tanaman (Maman, 1994).

Menurut Maman (1994), *Effective Microorganism* 4 (EM4) adalah suatu larutan kultur (biakan) dari mikroorganisme yang hidup secara alami di tanah yang subur serta bermanfaat untuk peningkatan produksi. Sifat-sifat dari EM4 adalah sebagai berikut:

1. EM 4 adalah suatu cairan berwarna coklat dengan bau yang enak. Apabila baunya busuk atau tidak enak, berarti mikroorganisme-mikroorganisme tersebut telah mati dan harus dicampur dengan air untuk menghentikan tumbuhnya gulma (rumput liar).
2. EM 4 harus disimpan di tempat teduh dalam wadah yang ditutup rapat.
3. Bahan-bahan organik dapat difermentasikan dalam waktu yang singkat oleh EM 4.
4. Makanan-makanan untuk EM 4 termasuk bahan organik, molase, rabuk hijau, kotoran hewan, dan bekatul.
5. EM 4 mampu bekerja secara efisien tanpa bahan kimia.

Perkembangan probiotik di Indonesia belum pesat, namun sudah mulai dikembangkan dan salah satu probiotik yang telah

mampu diproduksi dalam negeri berupa media kultur berbentuk cairan yang dapat disimpan lama adalah EM 4 (*Effective Microorganisms* 4). EM 4 mengandung 90% bakteri *Lactobacillus sp*. (bakteri penghasil asam laktat) pelarut fosfat, bakteri fotosintetik, *Streptomyces sp*, jamur pengurai selulosa dan ragi. EM 4 merupakan suatu tambahan untuk mengoptimalkan pemanfaatan zat-zat makanan karena bakteri yang terdapat dalam EM 4 dapat mencerna selulosa, pati, gula, protein, dan lemak (Surung, 2008). Komposisi EM 4 ditampilkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2 Komposisi EM 4

Kandungan Zat Hara	Jumlah
Total plate count	2,8 x 106
Bakteri pelarut fosfat	3,4 x 105
Lactobacillus	3,0 x 105
Yeast	1,95 x 103
Actinomycetes	+
Bakteri fotosintetik	+
C-Organik	1,88 % w/w
Nitrogen	0,68 % w/w
P2O5	136,78 ppm
K20	8403,70 ppm
Aluminium, Al	< 0,01 ppm
Calsium, Ca	3062,29 ppm
Copper, Cu	1,14 ppm
Iron, Fe	129,38 ppm
Magnesium, Mg	401,58 ppm
Mangan, Mn	4,00 ppm
Sodium, Na	145,68 ppm
Nickel, Na	< 0,05 ppm

Kandungan Zat Hara	Jumlah
Zinc, Zn	1,39 ppm
Boron, B	<0,0002 ppm
Chlorida, Cl	2429,54 ppm
pH	3,73

Sumber: PT Songgolangit Persada, 2011

1.4 TPA Supit Urang

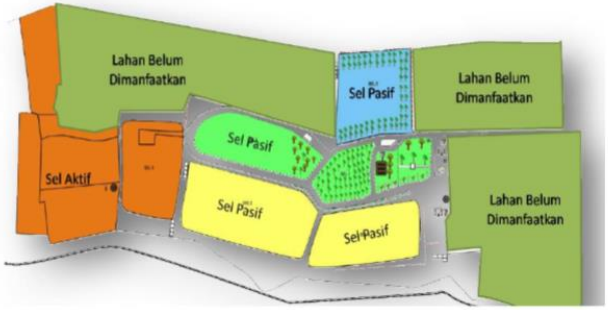
Supiturang adalah sebuah kawasan di perbatasan barat antara Kota Malang dan Kabupaten Malang yang sekilas jika diamati dalam peta Wilayah Kota Malang bentuknya menyerupai supit urang. Kawasan hamparan ladang tebu milik warga yang membentang dari timur ke barat, dengan kondisi lahannya yang berbukit, secara bertahap telah dimiliki oleh Pemerintah Kota Malang dan pada akhirnya disulap menjadi lokasi pembuangan sampah. Secara administratif, kawasan ini berada di kelurahan Mulyorejo, Kecamatan Sukun, Kota Malang (Ngaziizi, 2012).

Menurut Maulina (2017), area luas lahan TPA Supit Urang yaitu 13,2 Ha, dan luas kantor dan taman 2 Ha. Dan adanya penambahan area 10 Ha untuk rehabilitasi TPA Supit Urang yang dilakukan oleh Pemkot Malang. Sehingga Total Area keseluruhan pengembangan area TPA menjadi 25,2 Ha. Pemanfaatan dan pengolahan lindi TPA Supit Urang saat ini belum optimal. Lindi atau air dari timbunan sampah saat ini hanya sekedar dimanfaatkan untuk biogas, pestisida, pembasmi larva lalat dan langsung dibuang ke lingkungan. Sistem instalasi pengolahan lindi serta proses pengolahan lindi di TPA Supit Urang belum sampai pada tahap aplikasi. TPA Supit Urang terletak di Kelurahan Mulyorejo Kecamatan Sukun yang batas-batas sebagai berikut:

- Sebelah utara : berbatasan dengan sungai Sumber Songo dengan jarak ±300m

- Sebelah timur : tempat permukiman penduduk dengan jarak ±700m
- Sebelah selatan : berbatasan dengan sungai Gandulan dengan jarak ±200m
- Sebelah barat : merupakan perbukitan dan lembah

Adapun bagian wilayah TPA Supit Urang adalah sel aktif seluas 3,20 Ha, sel pasif seluas 8,25 Ha, IPLT seluas 1,00 Ha, kantor, taman dan jalan seluas 2,75 Ha, dan lahan belum dimanfaatkan = 16,05 Ha. TPA Supit Urang menghasilkan limbah lindi dari hasil penanganan sampah secara landfill. Saat ini perlakuan lindi TPA Supit Urang hanya dengan cara ditampung didalam wadah galian yang jumlahnya disesuaikan, belum ada aplikasi mengenai sistem pengolahan lindi sehingga masih berpotensi untuk mencemari lingkungan. Layout TPA Supit Urang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Sumber : DKP Kota Malang

Gambar 2. 3 *Layout* TPA Supit Urang

1.5 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi

aerobik (Atima, 2015). Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Mays (1996) mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan. Nilai BOD dalam air limbah berbanding terbalik dengan nilai oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO). Semakin tinggi nilai BOD, maka oksigen terlarut dalam air semakin rendah.

Menurut Atima (2015), prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DOi) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20^0C) yang sering disebut dengan DO5. Selisih DOi dan DO5 (DOi - DO5) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan cara titrasi (metode Winkler, iodometri) atau dengan menggunakan alat yang disebut DO meter yang dilengkapi dengan probe khusus. Jadi pada prinsipnya dalam kondisi gelap, agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan dalam suhu yang tetap selama lima hari, diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganime, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai DO5.

1.6 pH

Tingkat asam atau basa pada umumnya dinyatakan sebagai nilai pH dan dapat diukur dengan pH meter (Bleam, 2017). Nilai pH memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari dan perlu dipantau bagi kontrol kualitas produk farmasi, kosmetik, dan makanan (Schaude *et al*., 2017). Kondisi pH pada cairan tubuh perlu dipantau untuk mengetahui tingkat kualitas kesehatan tubuh (Rios-Mera *et al*., 2017). Kondisi pH sebagai salah satu parameter kualitas air perlu dimonitor bagi kelangsungan hidup organisme seperti konsumsi air minum, pemantauan air kolam, air akuarium, atau air pada kolam budidaya perairan (Zhao *et a*l., 2013).

Menurut Kadir (2015), nilai pH menunjukkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan menunjukkan apakah perairan tersebut bersifat asam atau basa. Suatu larutan disebut asam apabila hidrogen meningkat dan nilai pH turun di bawah 7. Sebaliknya, suatu larutan disebut basa apabila hidrogen menurun dan nilai pH naik di atas 7.

1.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi salah satu acuan dalam melakukan penelitian ini sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Penelitian terdahulu yang menjadi acuan penulis yaitu:

1. Jurnal Ibrahim *et al*. tahun 2017 berjudul "Pengaruh Jarak Elektroda *Microbial Fuel Cell* pada Limbah Cair Pemindangan Ikan terhadap Elektrisitas dan Beban Pencemaran". Penelitian tersebut menjelaskan Sistem MFC dengan perlakuan jarak elektroda memberikan pengaruh terhadap produksi listrik yang dihasilkan. Nilai rata-rata tertinggi tegangan listrik diperoleh pada jarak 6 cm. Nilai rata-rata tertinggi arus listrik diperoleh pada jarak 4 cm.

Pengolahan limbah cair pemindangan ikan yang dipadukan sistem MFC masih dapat menurunkan nilai-nilai COD, BOD, dan TAN limbah rebusan ikan pindang. Penurunan BOD terbesar terjadi pada perlakuan jarak 6 cm sebesar 20,50%. Sedangkan pada jarak 2 cm dan 4 cm secara berturut-turut mengalami penurunan sebesar 11% dan 18%. Hasil penurunan ini belum maksimal karena faktor lama pengamatan. Lama pengamatan yang dilakukan selama 2 hari atau 48 jam memberikan pengaruh belum terurainya bahan organik secara sempurna. Oksidasi karbon organik akan mencapai penurunan sebesar 60-70% dalam waktu 5 hari dan dalam waktu 20 hari akan mencapai 95%.

2. Jurnal Sonawane et al. tahun 2017 berjudul "Landfill Leachate: A Promising Substrate for Microobial Fuel Cells". Penelitian tersebut telah berhasil membuktikan bahwa air lindi yang berasal dari TPA mampu digunakan sebagai bahan baku MFC. Penelitian tersebut pun menunjukkan *open circuit voltage* yang sangat tinggi yaitu 1.3 V dan merupakan salah satu volatase tertinggi yang pernah dihasilkan oleh MFC. Penelitian tersebut menggunakan lembar grafit setebal 1,5 mm sebagai katoda dan Toray Carbon Paper TGP-H-60 sebagai anoda.
3. Skripsi Rusmawinda tahun 2003 berjudul Dosis Efektif EM4 (*Effective Microorganism* 4) dalam Penurunan Kandungan BOD5 (*Biochemical Oxygen Demand* 5) pada Lindi TPA Jatibarang Semarang. Berdasarkan hasil penelitian, rerata kadar BOD5 setelah perlakuan pemberian berbagai dosis EM4 pada dosis 3 ml/l = 1557,15 mg/l, dosis 4 ml/l = 928,39 mg/l, dosis 5 ml/l = 578,5 mg/l, dosis 6 ml/l = 186,2 mg/l, dosis 7 ml/l = 93,6 mg/l, dosis 8 ml/l = 107,9 mg/l dan dosis 9 ml/l = 122,18 mg/l. Persentase penurunan rerata BOD5 dosis 3 ml/l = 25,68%, dosis 4 ml/l = 55,68%, dosis 5 ml/l = 72,39%, dosis 6 ml/l = 91,1%, dosis 7 ml/l = 95,55%, dosis 8

ml/l = 94,84% dan dosis 9 ml/l = 94,16% dengan dosis optimal diperoleh 7 ml/l. Bila dibandingkan SK Meneg KLH No. Kep. 03/MenKLH/II/1991, BOD5 pada lindi TPA Jatibarang memenuhi standar baku mutu golongan III.

Beracuan pada keempat penelitian tersebut, penulis mengambil variasi jarak elektroda 4 cm sesuai dengan penelitian yang dilakukan Ibrahim *et al*. (2017) dan mencoba variasi jarak elektroda 8 cm. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini pun didasari oleh penelitian yang dilakukan Sonawane *et al*. (2017) yaitu menggunakan karbon sebagai anoda dan grafit sebagai katoda. Pemilihan karbon grafit ini pun didasari karena karbon grafit memiliki sifat tahan terhadap air dan pelarut organik, memiliki resistansi korosif yang tinggi, memiliki rataan elektrisitas yang tinggi, dan memiliki luas permukaan tertentu. Pemilihan bakteri EM 4 sesuai dengan penelitian yang dilakukan Rusmawinda (2003) terbukti dapat menurunkan kadar BOD pada air lindi TPA. Dosis penambahan bakteri EM 4 yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu 7ml/l sesuain dengan hasil penelitian tersebut.

repository.ub.ac.id

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III METODE PENELITIAN

1.1.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada 13 Maret 2019 pukul 08.00 hingga 20 Maret 2019 pukul 16.00. Penelitian ini bertempat di Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan Universitas Brawijaya, Malang. Pengambilan limbah cair air lindi dilakukan di TPA Supit Urang, Kelurahan Mulyorejo, Kota Malang, Jawa Timur pada tanggal 12 Maret 2019. Lokasi pengambilan limbah cair air lindi dan lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2.**

Gambar 3. 1 Peta TPA Supit Urang

Gambar 3. 2 Peta Lab. Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan

1.2 Alat dan Bahan

1.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reaktor : sebagai wadah substrat
2. Data *logger* : untuk mengukur tegangan
3. Avometer digital : untuk mengukur kuat arus
4. Kabel dan jepit buaya : untuk menghubungkan elektroda dengan data logger
5. Solder dan timah : untuk menyambungkan kabel dengan jepit buaya
6. Gunting : untuk memotong kabel dan jepit buaya
7. Jerigen : sebagai wadah sampel air lindi
8. Kamera : sebagai alat dokumentasi selama penelitian

1.2.2 Bahan

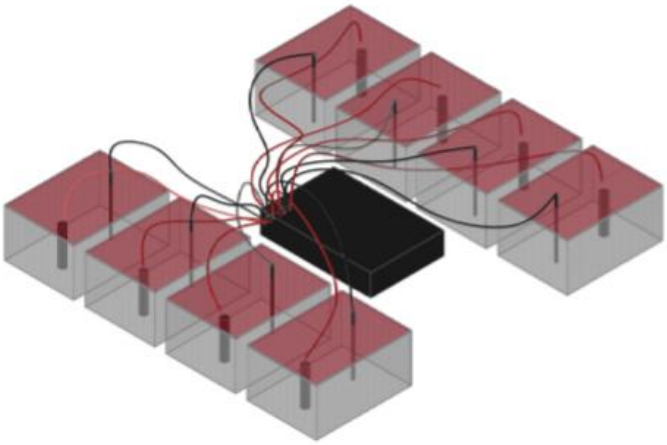
Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Air lindi : sebagai substrat
2. *Effective Microorganism* 4 (EM 4) : sebagai bakteri yang ditambahkan pada air lindi
3. Batang karbon grafit : sebagai elektroda
4. Lem G : untuk merekatkan elektroda pada bak reaktor
5. Plastisin : untuk menutup lubang kecil pada reaktor
6. Aquades : sebagai pelarut

1.2.3 Desain Alat

Penelitian ini menggunakan reaktor MFC dengan jenis *single chamber*. Rangkaian alat terdiri dari reaktor MFC dan data logger. Reaktor MFC sendiri terdiri dari 4 bak reaktor dengan perlakuan jarak elektroda 4 cm dan 4 bak reaktor dengan

perlakuan jarak elektroda 8 cm. Pada masing-masing perlakuan jarak elektroda tersebut 2 bak reaktor dilakukan penambahan EM 4 dan 2 lainnya tanpa penambahan EM 4. Desain reaktor dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3. 3 Rancangan Reaktor MFC

1.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian komparatif bersifat *ex post facto*. Penelitian komparatif dilakukan dengan membandingkan nilai BOD dan pH yang diuji sebelum dan sesudah difermentasikan di dalam reaktor MFC dan membandingkan produktivitas listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC. Metode komparatif bertujuan untuk menentukan penyebab mengapa terdapat perbedaan pada tingkah laku suatu kelompok maupun individual. Pendekatan dengan metode penelitian *ex post facto* adalah penelitian empiris yang sistematis dimana peneliti tidak mengendalikan variabel bebas secara langsung karena eksistensi variabel tersebut telah terjadi dan diwujudkan pada substrat yang digunakan yaitu, air lindi.

1.4 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini menggunakan rancangan sederhana dengan dua faktor dan dua kali pengulangan. Faktor pertama yaitu jarak elektroda dan faktor kedua yaitu penambahan EM 4. Faktor pertama yaitu jarak katoda dan anoda terdiri dari dua perlakuan yaitu jarak 4 dan 8 cm. Faktor kedua yaitu penambahan EM 4 terdiri dari dua perlakuan yaitu ada dan tidaknya penambahan EM 4. Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF) penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

Perlakuan		Ulangan	
Jarak Elektroda	**Penambahan EM 4**	**1**	**2**
J_1	B_0	J_1B_0*U1	J_1B_0*U2
	B_1	J_2B_0*U1	J_2B_0*U2
J_2	B_0	J_1B_1*U1	J_1B_1*U2
	B_1	J_2B_1*U1	J_2B_1*U2

Keterangan :

J_1 : Jarak Katoda-Anoda 4 cm

J_2 : Jarak Katoda-Anoda 8 cm

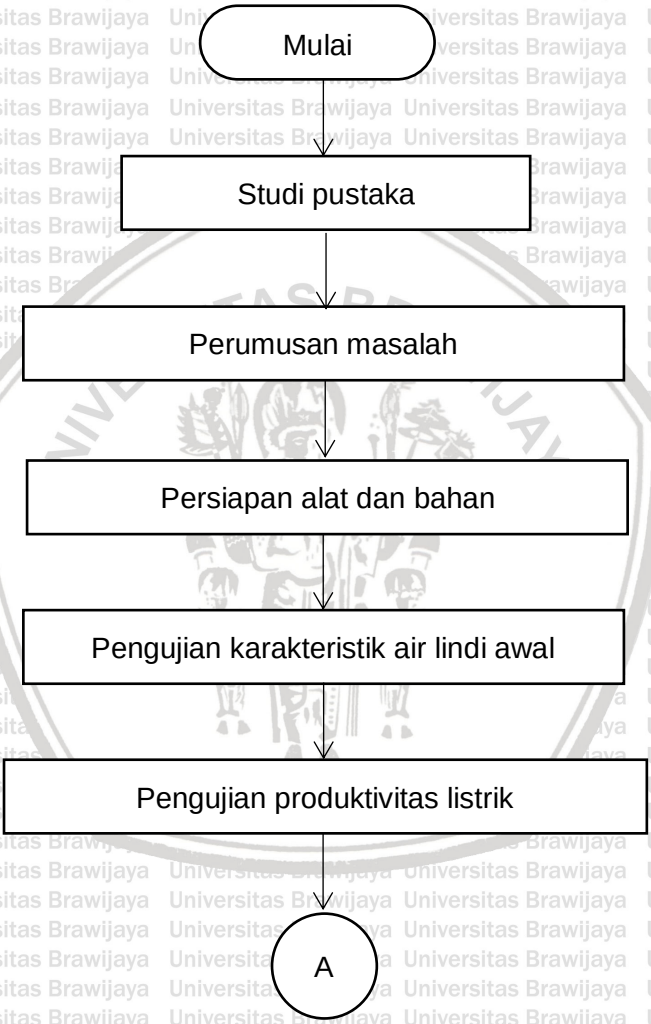
B_o : Tanpa ada penambahan bakteri EM 4

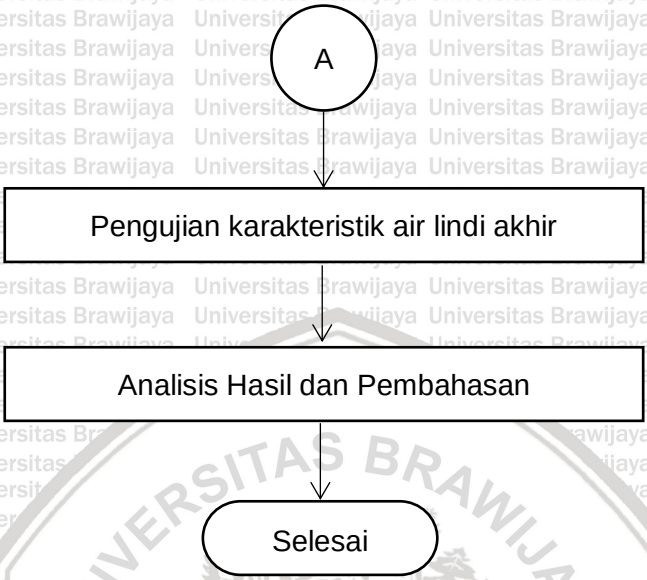
B_1 : Dengan penambahan bakteri EM 4

U_1, U_2 : Ulangan ke-1, ke-2

1.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir pada **Gambar 3.4**.





Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

1.5.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mengumpulkan informasi dan data dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, literature, karangan ilmiah, serta sumber-sumber lain yang terpercaya. Studi pustaka dilakukan pada tahap awal penelitian bertujuan untuk menemukan informasi yang relevan dan sesuai dengan objek penelitian, yaitu sistem MFC. Studi pustaka juga dilakukan untuk mendapatkan landasan teori yang dapat dijadikan pedoman dalam melaksanakan penelitian mengenai penambahan bakteri dan jarak elektroda terhadap produktivitas listrik.

1.5.2 Perumusan Masalah

Pertimbangan untuk memutuskan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini berdasarkan pada studi pustaka yang telah dilakukan. Masalah yang diperoleh dari studi pustaka yaitu dibutuhkannya pengembangan energi terbarukan salah satunya

yaitu MFC. Medium organik yang dapat digunakan pada sistem MFC tersedia melimpah di alam seperti glukosa, pati, asam lemak, asam amino, dan air limbah dari manusia dan hewan. 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.

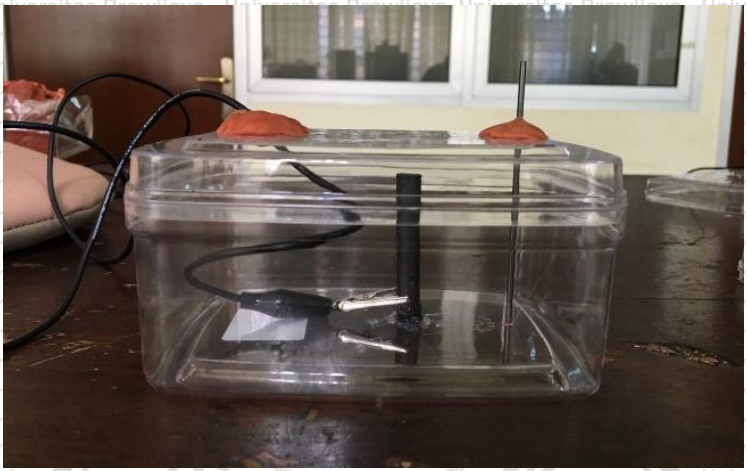
1.5.3 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

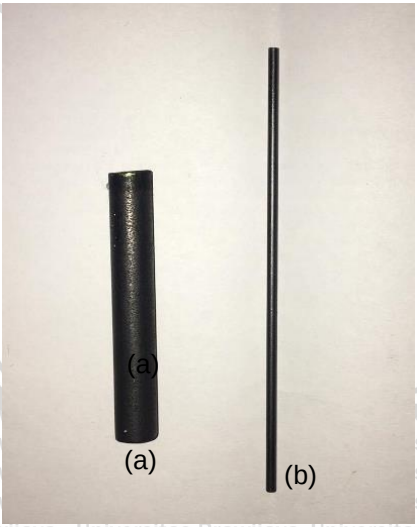
1. Perancangan dan Pembuatan Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan MFC *single chamber* tanpa membran. Reaktor MFC dibuat menggunakan wadah berbahan akrilik. Reaktor MFC berukuran panjang 13 cm, lebar 9,5 cm dan tinggi 6,5 cm yang bagian atasnya tertutup karena proses reaksi memerlukan keadaan anaerob. Kapasitas reaktor yang digunakan pada penelitian ini sebesar 800 ml. Bagian dalam reaktor akan tersusun katoda dan anoda dengan jarak sesuai dengan perlakuan. Kompartemen anoda dan katoda hanya memiliki satu ruang yang diisi dengan substrat yaitu air lindi. Reaktor MFC dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.

Komponen penyusun sistem MFC berikutnya yaitu elektroda. Elektroda yang digunakan yaitu karbon sebagai anoda dan grafit sebagai katoda. Batang karbon yang digunakan berbentuk tabung dengan diameter 0.7 cm dan tinggi 5 cm. Grafit yang digunakan pun berukuran tabung dengan diameter 2 mm dan tinggi 9 cm. Luas permuakaan karbon dan grafit masing-masing yaitu 11.75 cm^2 dan 5.7 cm^2. Katoda dan anoda dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3. 5 Reaktor MFC *Single Chamber*



Gambar 3. 6 Elektroda (a) Karbon sebagai Anoda (b) Grafit sebagai Katoda

2. *Seeding* EM 4

EM 4 yang digunakan yaitu EM 4 yang diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Songgolangit Persada. EM 4 tersebut dibeli di Pasar Splendid. Sebelum digunakan EM 4 terlebih dahulu diaktifkan dengan cara mencampurkan 25 ml EM 4 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 EM 4 diaktifkan dengan cara mencampurkan 1 liter EM 4 dengan 20 liter air dan 5 sdm gula merah cair, kemudian difermentasikan 2-4 hari. Setelah itu hasil fermentasi tersebut akan dicampurkan dengan air lindi yang akan dijelaskan pada poin nomer 5.

3. Pengambilan Air Lindi

Air lindi yang digunakan merupakan limbah cair yang berasal dari TPA Supit Urang Kota Malang. Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel limbah air lindi yaitu *grab sample*. *Grab samle* (sampel sesaat) yaitu pengambilan secara langsung pada kolan air lindi. Sampel ini hanya menggambarkan karakteristik air lindi pada saat sampel diambil. Pengambilan sampel dengan metode ini dilakukan pada satu titik. Jumlah air lindi yang diambil sebanyak 10 liter menggunakan gelas ukur dan dituang pada jerigen yang selanjutnya ditutup rapat dan dibawa menuju lokasi penelitian.

4. 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 yaitu 4 cm dan 8 cm. Jumlah elektroda pada setiap perlakuan jarak yaitu 1 katoda dan 1 anoda.

5. Penambahan Air Lindi pada Reaktor

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

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

6. Penutupan Reaktor

Reaktor selanjutnya ditutup rapat menggunakan penutup reaktor. Penutup reaktor pun 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. Kabel dari rangkaian elektroda tersebut selanjutnya disambungkan pada data logger.

7. 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. Data Logger dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.

Gambar 3. 7 Graphtec midi Logger GL220

1.5.4 Pengujian Karakteristik Air Lindi

Pengambilan sampel air lindi akan dilakukan pada air lindi awal dan air lindi setelah diberi perlakuan. Pengambilan sampel air lindi awal yaitu dengan mengambil 600 ml air lindi yang sudah dihomogenkan kedalam 1 botol sampel untuk dilakukan pengujian BOD. Pengambilan sampel air lindi setelah diberi perlakuan pun sama yaitu dengan mengabil masing-masing 600 ml air lindi tiap reaktor kedalam 18 botol sampel. Sampel yang telah diambil kemudian diawetkan dan dibawa ke Perum Jasa Tirta I, Malang untuk dilakukan pengujian BOD_5. Metode pengujian BOD_5 dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Selain dilakukan pengujian BOD, dilakukan pula pengujian pH pada sampel air lindi awal dan air lindi setelah diberi perlakuan. Berikut adalah alat dan bahan serta tahapan pelaksanaan pengujian pH dengan pH meter.

1. Uji pH

   Tahapan dalam menganalisis pH SNI 06-6989.11-2004:

A. Prinsip

Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH meter.

B. Peralatan

a. pH meter dengan perlengkapannya;
b. pengaduk gelas atau magnetik;
c. gelas piala 250 mL;
d. kertas tissue;
e. timbangan analitik; dan
f. termometer

C. Persiapan Pengujian

a. Lakukan kalibrasi alat pH-meter dengan larutan penyangga sesuain instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran
b. Untuk contoh uji yang mempunyai suhu tinggi, kondisikan contoh uji sampai suhu kamar.

D. Prosedur

a. Keringkan dengan kertas tisu selanjutnya bilas elektroda sengan air suling.
b. Bilas elektroda dengan contoh uji.
c. Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukka pembacaan yang tetap.
d. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilin dari pH meter.

1.5.5 Pengujian Produktivitas Listrik

Pengujian produktivitas listrik dilakukan dengan mengukur beda potensial dan kuat arus listrik. Beda potensial listrik diukur menggunakan data *logger*. Sedangkan pengukuran kuat arus listrik dilakukan menggunakan avometer. Pengukuran beda potensial dan kuat arus listrik dilakukan selama 7 hari. Beda

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

1.5.6 Analisa Hasil dan Pembahasan

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Analisis nilai kadar oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik sebelum dan sesudah sistem MFC melalui pengujian nilai BOD untuk diketahui pengaruhnya terhadap produktivitas listrik.
2. Analisis nilai pH air lindi awal dan nilai pH setiap dilakukan perlakuan melalui uji pH untuk dilihat perlakuan mana yang dapat memenuhi baku mutu.
3. Analisis produktivitas listrik (beda potensial dan kuat arus listrik) selama 7 hari sistem MFC pada setiap perlakuan yang dilakukan.
4. Dilakukan perhitungan hambatan dan kerapatan daya yang dihasilkan dari proses MFC dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\Omega = \frac{V}{I} \quad \text{.....(3-1)}$$

Keterangan :

Ω = hambatan (ohm)

V = beda potensial listrik (Volt)

I = kuat arus listrik (Ampere)

$$\text{Kerapatan Daya} = \frac{VxI}{A} \quad \text{.....(3-2)}$$

Keterangan :

Kerapatan Daya = Watt/m^2

V = beda potensial listrik (Volt)

I = kuat arus listrik (Ampere)

A = luas permukaan elektroda (m^2)

5. Dilakukan perhitungan daya dan energi yang dihasilkan dari proses MFC menggunakan metode integrasi luasan dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$P = V \times I$ ……(3-3)

Keterangan :

P = daya listrik (Watt)

V = beda potensial listrik (Volt)

I = kuat arus listrik (Ampere)

$\int_0^{14} f(t)dt$ ……(3-4)

Keterangan :

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

t = waktu (jam)

6. Penyajian data berupa tabel, diagram, dan grafik serta kalimat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Hasil Produktivitas Listrik

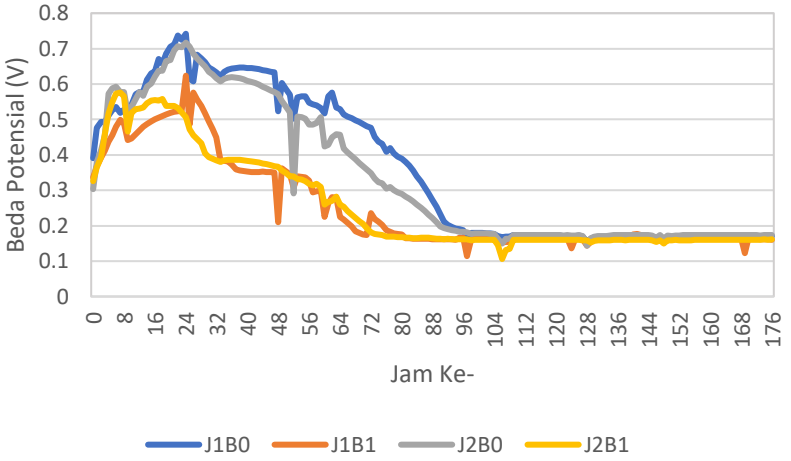
Parameter yang diukur dalam pengamatan yaitu beda potensial dan kuat arus listrik. Hasil pengamatan beda potensial dalam satuan Volt (V) dan kuat arus dalam satuan miliampere (mA). Hasil pengukuran beda potensial dan kuat arus listrik setiap jamnya diplot dalam grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**.

1.1.1 Beda Potensial Listrik

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 disebebkan ketika mikroorganisme sedang beradaptasi untuk memecah substrat yang lebih kompleks menjadi sederhana.

Nilai beda potensial tertinggi tertinggi pada setiap perlakuan terturut-turut dari yang paling tinggi hingga paling rendah yaitu J1B0 sebesar 0.742 V pada jam ke-25, J2B0 sebesar 0.717 pada jam ke-25, J1B1 sebesar 0.623 pada jam ke-25, dan J2B1 sebesar 0.576 pada jam ke-8. 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 didalamnya. Beberapa jenis bakteri yang terdapat pada air lindi antara lain *Protobacteria, Firmicutes, Thermotoge, Spircheates,* dan

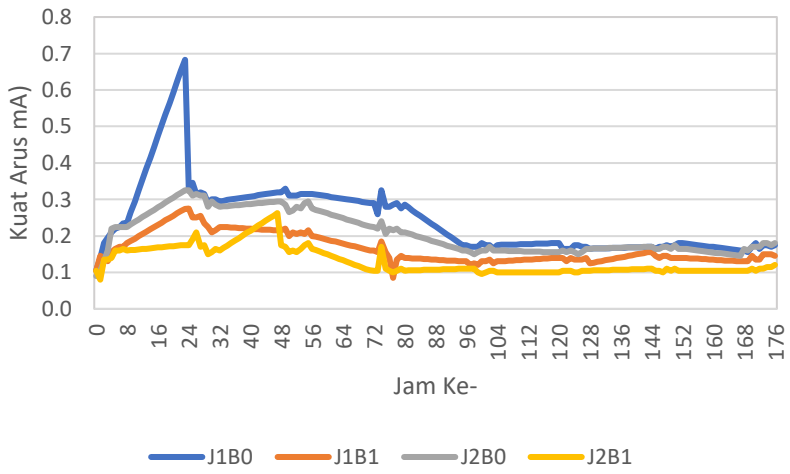
Bacteroidetes. Kultur *Firmicutes* dan *Proteobacteria* memiliki kemampuan berinteraksi dengan anoda untuk menghasilkan arus listrik. Hasil pengukuran beda potensial per jamnya diplot dalam grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengukuran Beda Potensial tiap Perlakuan

1.1.2 Kuat Arus Listrik

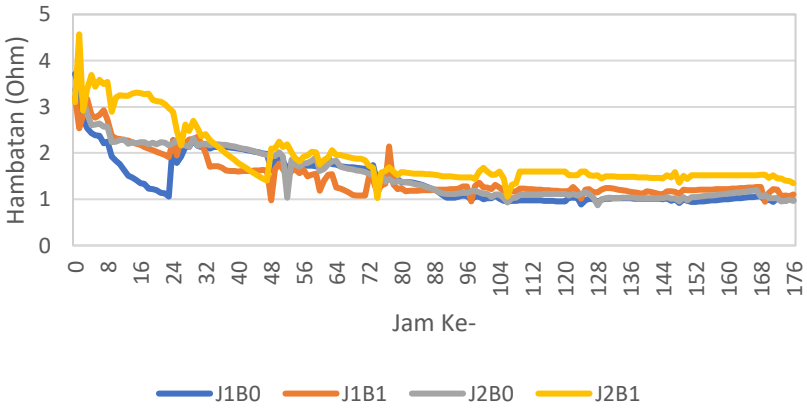
Kuat arus listrik yang dihasilkan pada penelitan ini fluktuatif. Kenaikan terjadi pada 24 jam pertama dan mengalami penurunan hingga jam ke-92. Pada jam ke-92 hingga jam ke-169 nilai kuat arus sistem MFC cenderung stabil dan kembali terlihat ada sedikit kenaikan pada jam ke-169 hinggi jam ke-176. Hasil pengukuran kuat arus per jamnya diplot dalam grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



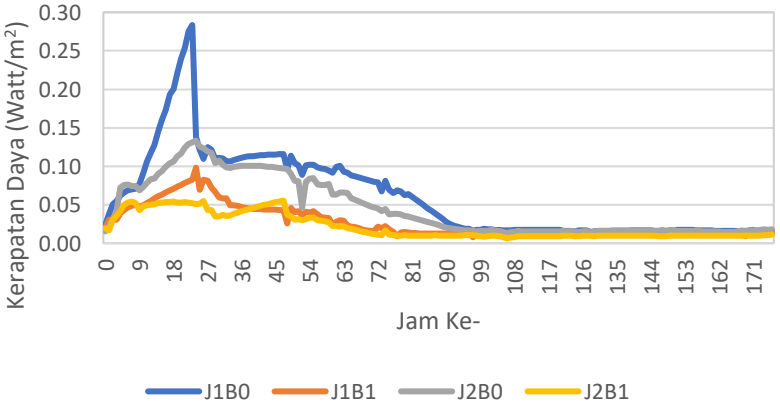
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengukuran Kuat Arus Listrik tiap Perlakuan

Nilai kuat arus tertinggi pada setiap perlakuan terturut-turut dari yang paling tinggi hingga paling rendah yaitu J1B0 sebesar 0.682 pada jam ke-24, J2B0 sebesar 0.325 pada jam ke-25, J1B1 sebesar 0.275 pada jam ke-25, dan J2B1 sebesar 0.262 pada jam ke-48. 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 4.3**). 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 ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. 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 (3-1) dan **Persamaan (3-2)**. Grafik hambatan dan kerapatan daya yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4**.



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Rerata Hambatan tiap Perlakuan

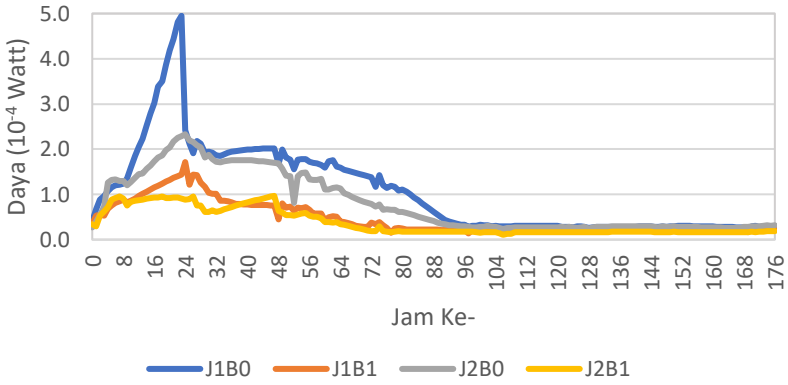


Gambar 4. 4 Grafik Hasil Rerata Kerapatan Daya tiap Perlakuan

1.1.3 Daya Listrik

Nilai Daya listrik dihitung berdasarkan **Persamaan (3-3)**. Daya listrik yang terukur pun mengalami fluktuasi

karena berbanding lurus terhadap beda potensial dan kuat arus. Hasil nilai daya listrik dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Daya Listrik tiap Perlakuan

Pada **Gambar 4.5**, 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 nutrien yang ada di dalam sel pada fase operasi awal MFC. Namun, terjadi penurunan arus jenis yang drastis yang diakibatkan oleh menurunnya ketersediaan nutrien 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 nutrien 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 J1B0. 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.

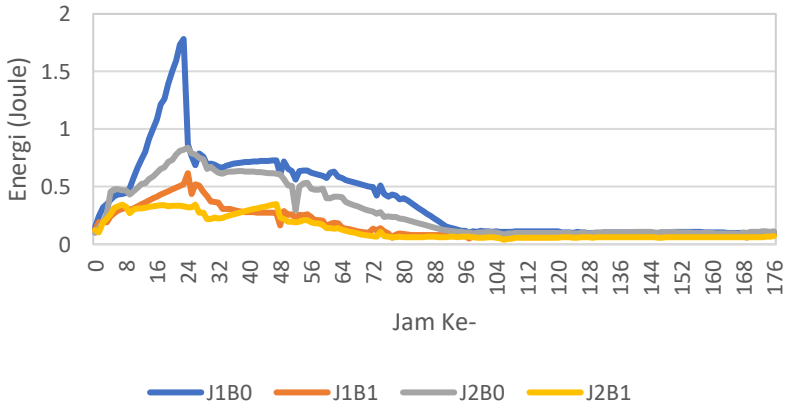
Daya listrik terendah yang dihasilkan pada penelitian ini terdapat pada perlakuan J2B1. Menurut Kim *et al*. (2006), salah satu penyebab rendahnya daya listrik tersebut karena terbentuknya biofilm yang lebih tebal pada pemukaan elektroda. Apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh biofilm, maka jumlah elektron yang dapat ditransfer ke elektroda akan semakin sedikit sehingga terjadilah penurunan arus listrik. Selain pengaruh biofilm, substrat bahan organik kompleks berpengaruh juga terhadap arus listrik (Lovley, 2008). Hal ini pun dijelaskan oleh Logan *et al.* (2006), bahwa elektron yang dihasilkan dari

proses pengolahan limbah tidak sepenuhnya ditransfer menjadi arus listrik. Efisiensi *coulombic* dikatakan dalam kondisi ideal apabila angka efisiensi mencapai 100%, dimana semua elektron yang dihasilkan diubah menjadi arus listrik. Rendahnya efisiensi *coulombic* kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya biofilm pada permukaan elektroda anoda.

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 stasioner 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 degredasi substrat akan semakin cepat, sehingga ketersediaan nutrien untuk bakteri pun juga akan lebih cepat habis. Fase kematian ditandai dengan jumlah bakteri yang terus menurun. Hal itu terjadi karena penumpukan hasil metabolisme, nutrien mulai habis, dan terjadi kompetisi nutrien. 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 nutrien untuk metabolisme bakteri sehingga bakteri dapat terus tumbuh dan meningkatkan daya listrik sistem MFC.

1.2 Energi Listrik Terkonversi

Energi dihasilkan oleh konversi metabolisme mikroba yang ada pada sistem MFC diperoleh dari perhitungan metematis. Energi didapatkan dari hasil perkalian daya yang dihasilkan dengan waktu fermentasi. Metode penetuan 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 (3-4)**. Grafik energi terhadap waktu dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 6 Grafik Daya terhadap Waktu

Pada **Gambar 4.6**, 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. Energi total pada setiap perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Energi Total tiap Perlakuan

Perlakuan	Energi Total (Joule)
J1B0	67.312
J1B1	29.729
J2B0	51.196
J2B1	24.011

Total energi tertinggi terdapat pada perlakuan J1B0 sebesar 67.312 Joule dan terendah terdapat pada perlakuan J2B1 sebesar 24.011 Joule. 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. Penjelasan perolehan energi akan dijelaskan lebih lanjut tiap perlakuannya pada sub bab **4.2.1** dan **4.2.2**.

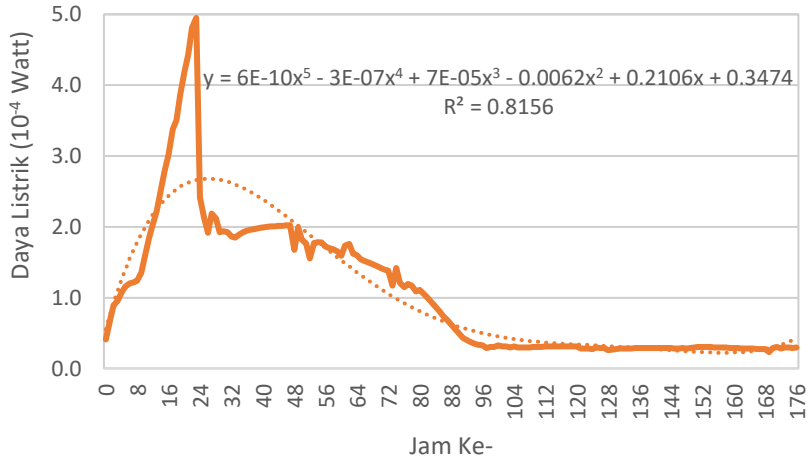
1.2.1 Penghasilan Energi Listrik MFC Air Lindi tanpa Penambahan EM4

Besarnya energi pada sistem MFC dengan perlakuan J1Bo mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada **Gambar 4.7 (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 (R^2) 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

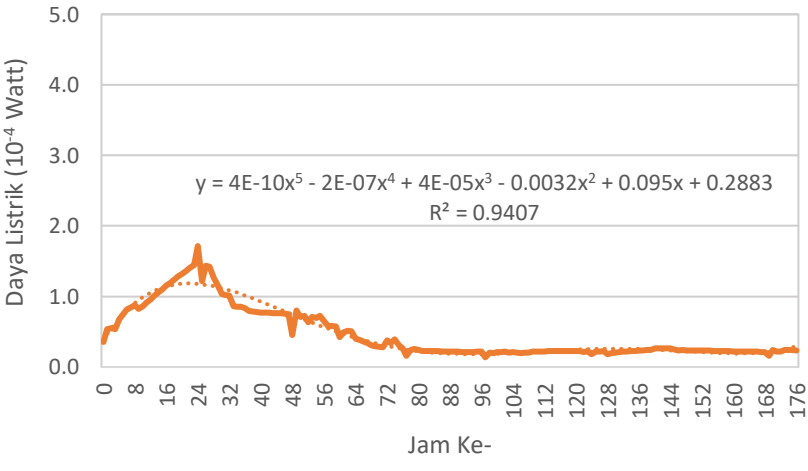
yang dihasilkan oleh sistem MFC dengan jarak elektroda 4 cm lebih besar dibandingkan dengan sistem MFC dengan perlakuan lain.

Besarnya energi listrik pada sistem MFC dengan perlakuan J2B0 mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada **Gambar 4.7 (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 (R^2) 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 4.7 (a)** sebesar 67.312 Joule dan **Gambar 4.7 (b)** sebesar 51.196 Joule dibandingkan dengan MFC menggunakan substrat kulit pisang seperti yang telah diteliti sebelumnya oleh Virginia (2018) dimana dalam waktu 7 hari sistem MFC tersebut 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 yang berperan sebagai bahan baku makanan makhluk hidup dan berperan penting dalam proses dekomposisi material organik.



(a)



(b)

Gambar 4. 7 Grafik Daya Listrik pada Tanpa Penambahan EM 4 (a) Jarak Elektroda 4 cm (b) Jarak Elektroda 8 cm

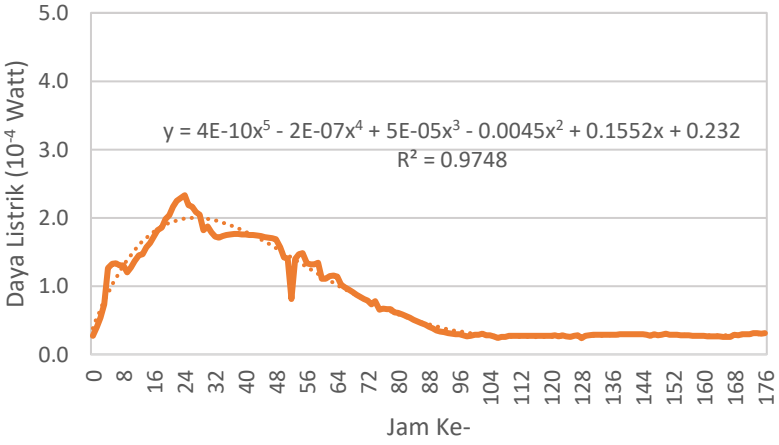
1.2.2 Penghasilan Energi Listrik Air Lindi dengan Penambahan EM 4

Besarnya energi listrik pada sistem MFC dengan perlakuan J1B1 mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada **Gambar 4.8 (a)**. Adapun fungsi besarnya energi yang diperoleh adalah $y= 4.10^{-14}x^5 - 2.10^{-11}x^4 + 5.10^{-9}x^3 - 4.10^{-7}x^2+2.10^{-5}x+2.10^{-5}$. 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.

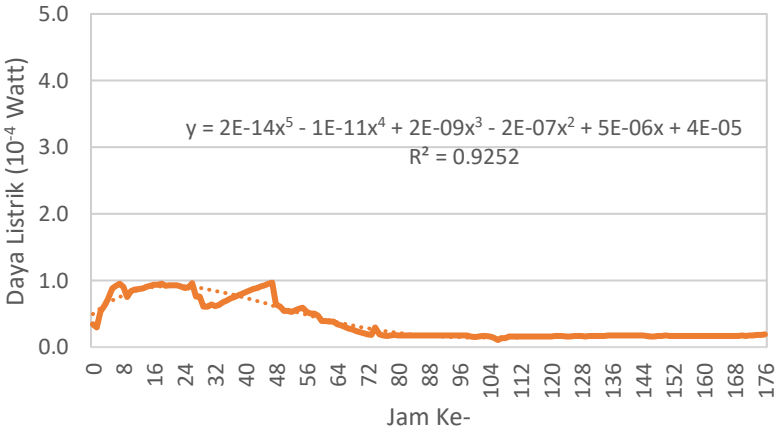
Besarnya energi listrik pada sistem MFC dengan perlakuan J2B1 mengikuti persamaan polinomial orde 5 yang tertera pada **Gambar 4.8 (b)**. Adapun fungsi besarnya energi yang diperoleh adalah $y= 2.10^{-14}x^5-1.10^{-11}x^4+5.10^{-9}x^3 - 2.10^{-7}x^2 + 5.10^{-6}x + 4.10^{-5}$. Persamaan tersebut memiliki 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 terendah dibandingkan dengen 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 4.8 (a)** sebesar 29.729 Joule dan **Gambar 4.8 (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).



(a)



(b)

Gambar 4. 8 Grafik Daya Listrik pada Dengan Penambahan EM 4 (a) Jarak Elektroda 4 cm (b) Jarak Elektroda 8 cm

1.3 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). Karakteristik air lindi hasil pengujian awal dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dan **Lampiran 8**.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Awal Air Lindi

Parameter	Baku Mutu	Karakteristik Awal
BOD	150 mg/L	931.7 mg/L
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

1.3.1 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. Nilai BOD yang didapatkan setelah dilakukan pengolahan melalui sistem MFC selama 7 hari dengan perlakuan variasi jarak elektroda dan penambahan EM 4 dapat dilihat dalam **Tabel 4.3**.

Tabel 4. 3 Kadar BOD pada Jam ke-176

Perlakuan	BOD (mg/L)		
J1	563.57	±	162.09
J2	606.05	±	120.64
P-Value	0.68		
B0	541.52	±	155.79
B1	628.10	±	112.97
P-Value	0.40		
J1B0	477.70	±	123.03
J1B1	649.45	±	184.90
J2B0	605.35	±	203.43
J2B1	606.75	±	47.72
P-Value	0.71		

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

Pada **Tabel 4.3**, hasil pengujian mengenai pengaruh jarak elektroda dan EM 4 terhadap penyisihan kadar BOD diolah dengan dilakukan T test dan uji ANOVA yang dapat dilihat pada **Lampiran 13**. Perbedaan variasi jarak elektroda, penambahan EM 4, 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 awal air lindi sebesar 931.7 mg/L. Nilai BOD yang didapat masih cukup jauh diatas baku mutu air lindi yang ditetapkan. Selanjutnya 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 diihat pengaruh jarak elektroda dan penambahan EM 4 terhadap nilai BOD, maka penurunan paling maksimal terjadi pada jarak elektroda 4 cm dan tanpa adanya penambahan EM 4. Selanjutnya dari hasil akhir nilai BOD tersebut dapat dihitung efisiensi penyisihan yang dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Hasil perhitungan didapatkan dengan membandingkan nilai BOD sebelum dilakukannya pengolahan dengan sistem MFC dengan nilai BOD setelah dilakukannya pengolahan. Efisiensi penyisihan BOD tertinggi yaitu pada perlakuan jarak elektroda 4 cm dengan tanpa penambahan EM 4.

Tabel 4. 4 Efisiensi Penyisihan BOD

Jarak Elektroda	Efisiensi Penyisihan BOD (%)
J1B0	48.72
J1B1	30.29
J2B0	35.02
J2B1	34.87

1.3.2 Nilai pH Air Lindi

Nilai pH air lindi yang diambil dari TPA Supit Urang bernilai 8.2. Nilai tersebut sudah memenuhi baku mutu air lindi yang ditetapkan dalam Permen LH P.59 Tahun 2016 yakni sebesar 6-9. Nilai pH setelah mendapat perlakuan mengalami penurunan mendekati pH normal. Nilai pengujian nilai pH pada sebelum dan sesudah sistem MFC dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Lampiran 11**.

Tabel 4. 5 Kadar pH pada Jam ke-176

Perlakuan	pH
B0J1	7.60 ± 0.00
B1J1	7.70 ± 0.14
B0J2	7.55 ± 0.07
B1J2	7.65 ± 0.07

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.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan EM 4 pada penelitian ini tidak berpengaruh pada peningkatan tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Tegangan dan kuat arus tertinggi yang dihasilkan pada perlakuan tanpa penambahan EM 4. Sedangkan pada pengaruh jarak elektroda terhadap tegangan dan kuat arus listrik pada penelitian ini 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.
2. Sistem MFC terbukti mampu menurunkan kandungan BOD dalam air lindi namun perbedaan variasi jarak elektroda, penambahan EM 4, dan interaksi antara keduanya tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap nilai BOD.
3. Energi listrik yang dihasilkan pada reaktor MFC menggunakan air lindi tertinggi yaitu pada perlakuan tanpa penambahan EM 4 dengan jarak elektroda 4 cm 67.312 Joule dan pada jarak elektroda 8 cm sebesar 51.196 Joule. Selanjutnya pada perlakuan dengan penambahan EM 4 pada jarak elektroda 4 cm energi yang dihasilkan sebesar 29.729 Joule dan pada jarak elektroda 8 cm sebesar 24.011 Joule.

5.2 Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai residu dari sistem MFC sehingga apabila sistem MFC ini berjalan dan dilakukan penambahan substrat air lindi secara berkala, residu ini tidak terus mengendap dan mengurangi kapasitas bak reaktor.

2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk penyimpanan energi listrik hasil MFC agar dapat dimanfaatkan secara langsung.
3. Dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk memperkecil hambatan internal pada sistem MFC sehingga daya maupun energi yang dihasilkan dapat lebih maksimal.
4. Dapat dilakukan penelitian lanjutan uji bakteri untuk mengetahui bakteri yang terdapat dalam proses penelitian dan kajian lebih lanjut tentang mikroba yang dapat menghasilkan muatan listrik secara kontinu.

DAFTAR PUSTAKA

Adjani, Z. N. 2014. **Kinerja Microbial Fuel Cell Penghasil Biolistrik dengan Elektroda yang Berbeda pada Limbah Cair Industri Perikanan**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Alaerts, G, dan Santika, S. 1987. **Metode Penelitian Air**. Surabaya: Usaha Nasional.

Alfiandy, D. 2003. **Pengelolaan Leachate Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tompogunung, Kabupaten Semarang**. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.

Ali, M. 2011. **Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan**. Surabaya: UPN Press.

Alwahab. 2017. **Profil Energi Listrik Terbarukan Melalu Teknologi Microbial Fuel Cell dari Beberapa Substrat Potensial**. Tesis. Kendari: Universitas Halu Oleo.

Artadi, A. 2007. **Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi**. JFN, 1, 2.

Atima, W. 2015. **BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah**. Jurnal Biology Science & Education (4): 1.

Bleam, W. 2017. **Soil and Environmental Chemistry (Second Edition)**. Academic Press.

Boyd, C. E. 1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Alabama: Auburn University.

Chae, KJ., Choi, M., Ajayi, Folusho F., Park, Wooshin, Chang, In S., dan Kim, IS. 2008. **Mass Transport Through a Proton Exchange Membrane (Nafion) In Microbial Fuel Cells**. Energy & Fuels (22):169–176.

Du Z, Li H, Gu T. 2007. **A State Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology For Wastewater Treatment and Bioenergy**. Biotech. Adv. 25: 464-482.

Dumas, C., Mollica, A., Feron, D., Basseguy, R., Etcheverry L., dan Bergel, A. 2007. **Marine Microbial Fuel Cell: Use of StainlessSteel Electrodes as Anode and Cathode Materials.** Paris: CNRS-INPT.

Dwitari, S. R. 2008. **Teknologi Pangan**. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.

Ehrig, H. J. 1993. **Quality and Quantity of Sanitary Landfill. Wastewater Management Research**. Jurnal Vol : 1. no 1.

Ginting, P. 2008. **Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri**. Bandung: Penerbit Yrama Widya.

Hasanah, L. 2009. **Sel Bahan Bakar.** Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.

Hassan, H., Jin, B., Donner, E., Vasileiadis, S., Saint, C., dan S. Dai. 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.** Biotechnolgy for Biofuels. 5:70.

Hoogers, G. 2002. **Fuel Cell Technology Handbook**. Florida: CRC Press Florida.

Hyun, M., Chang, I., Kim, M., Kim B. 2002. **A Mediator-less Microbial Fuel Cell Using A Metal Reducing Bacterium.** Shewanella putrefaciens. Enzy. & Mic. Tech. 30:145-152.

Irpan. 2018. **Studi Perancangan Sistem Seri, Paralel dan Kombinasi pada Teknologi Microbial Fuel Cell sebagai Produksi Energi Listrik Menggunakan Limbah Industri Tahu**. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Kadir, A. 2015. **Buku Pintar Pemrograman Arduino.** Yogyakarta: Penerbit Mediacom.

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. 2005. **Simultaneous Wastewater Treatment and Biological Electricity Generation.** Wat. Sci. and Tech. 52(1-2): 31-37.

Logan, B. E. 2006. **Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology**. Environmental Science & Technology Vol. 40, No. 17.

Logan, B. E. 2008. **Microbial Fuel Cells**. Wiley (USA): Hoboken.

Logan, B. E., Regan, J. M. 2006. **Electricity-Producing Bacterial Communities In Microbial Fuel Cells**. TIMI 14(12): 512-518.

Logan, B. E., Wallack, M. J., Kim, K. Y., He, W., Feng, Y., dan Saikaly, P. E. 2015. **Assessment of Microbial fuel cell Configurations and Power Densities**. Environmental Science Technology Lett. 2: 206−214.

Lovley, D. R. 2006. **Bug Juice: Harvesting Electricity with Microorganisms**. Nat. Rev. 4: 497-508.

Lovley, D. R. 2008. **The Microbe Electric: Conversion of Organic Matter Toelectricity**. Current Opinion in Biotechnology. Vol. 19: pp 1–8. USA.

Maharani, M. dan Wesen, P. 2018. **Degradasi Las dan BOD dengan Proses Lumpur Aktif Menggunakan Kombinasi Bakteri Pseudomonas Aeruginosa dan Pseudomonas Putida**. Jurnal Envirotek Vol. 9 No. 2

Maman, S. 1994. **EM4 Mikroorganisma Yang Efektif**. Sukabumi: KTNA.

Maulina, G. 2017. **Pengaruh Jumlah Sel Dalam Sistem Microbial Fuel Cells Dengan Bahan Lindi TPA Supit Urang Sebagai Upaya Memperoleh Sumber Energi Listrik Baru Terbarukan**. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.

Mays, L. W. 1996. **Water Resources Handbook**. New York: McGraw-Hill. p: 8.27-8.28.

Miran, W., Nawaz, M., Jang, J. and D.S. Lee. 2016. **Conversion of Orange Peel Waste Biomass to Bioelectricity Using**

a Mediator-Less Microbial Fuel Cell. Science of the Total Environment 547 (2016):197–205.

Ngaziizi, A. 2012. **Perancangan Kembali Tempat Pemrosesasan Akhir (TPA) Supiturang Malang**. Malang: Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim.

Nisimova, K. 2001. **Energy of A 1.5 V Battery**. The Physics Factbook.

Nurhakim, M. A., Kusdiyantini E., dan Raharjo B. 2016. **Penggunaan Substrat Glukosa Berbagai Konsentrasi sebagai Sumber Karbon Microbial Fuel Cell Saccharomyces cerevisiae untuk Menghasilkan Energi Listrik**. Semarang: Universitas Diponegoro

Paramita, P., Shovitri, M. dan 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., dan Jafar, N. 2014. **Efektivitas Penambahan EM4 pada Biofilter Anaerob-Aerob dalam Pengolahan Air Limbah RS. UNHAS**. Palu: Universitas Tadulako.

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**. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.

Reiny, S. S. 2012. **Potensi Lactobacillus acidophilus ATCC 4796 sebagai Biopreservatif pada Rebusan Daging Ikan Tongkol**. Jurnal IJAS, II(2) : 604–613.

Rios-Mera, J. D., Pinto, J. S., Contreras-Castillo, C. J. 2017. **Effect of Ultimate pH and Ageing on Thermal Denaturation of Bovine Muscle Proteins**. Meat Sci 131: 25-27.

Rizky, K. A. 2013. **Pengaruh Penambahan EM-4 (Effective Microorganisms-4) terhadap Penurunan BOD (Biologycal Oxygen Demand) Limbah Cair Tahu**. Solo: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Rusmawinda. 2003. **Dosis Efektif EM4 (Effective Microorganism 4) dalam Penurunan Kandungan BOD5 (Biochemical Oxygen Demand 5) pada Lindi TPA Jatibarang Semarang**. Semarang: Universitas Diponegoro.

Saleh, C. dan Purnomo H. 2014. **Analisis Efektifitas Instalasi Pengolahan Limbah Lindi Di TPA Supit Urang Kota Malang**. Jurnal Teknik Pengairan, Volume 5, Nomor 1, Mei 2014, hlm 103–109.

Sawyer, C. N. dan MC CARTY, P. L. 1978. **Chemistry for Environmental Engineering 3rd Edition**. Mc Graw Hill Kogakusha Ltd.: 405 - 486 pp.

Schaude, C., Fröhlich, E., Meindl, C., Attard, J., Binder, B., Mohr, G.J. 2017. **The Development of Indicator Cotton Swabs for the Detection of pH in Wounds**. Sensors, 17.

Sinaga, D. H. 2014. **Studi Pendahuluan Pemanfaatan Whey Tahu Sebagai Substrat dan Efek Luas Permukaan Elektroda Dalam Sistem Microbial Fuel Cell.** Jurnal Sains dan Matematika. Vol. 22 (2): 30-35

Sonawane, J. W., Adeloju, S. B., dan Ghosh, P. C. 2017. **Landfill Leachate: A Promising Substrate for Microbial Fuel Cells**. International Journal of Hydrogen Energy 42, 23794-23798.

Surung, M. Y., 2008. **Pengaruh Dosis EM4 (Effective Microorganism-4) dalam Air Minum Terhadap Berat Badan Ayam Buras**. Jurnal Agrisistem, Vol 4.4.

Utari, N. D. 2014. **Pemanfaatan Limbah Buah - Buahan sebagai Penghasil Energi Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cells (Variasi Penambahan Ragi Dan Asetat)**. Semarang: Universitas Diponegoro.

Virginia, C. 2018. **Analisis Produktivitas Listrik dari Biomassa Limbah Kulit Pisang dan Limbah Kulit Jeruk dengan Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cell (Mfc) sebagai Alternatif Pengelolaan Limbah Padat Domestik**. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.

Zhang, F., Ahn, Y., Logan, B. E. 2014. **Treating Refinery Wastewaters in Microbial Fuel Cells Using Separator Electrode Assembly or Spaced Electrode Configurations**. Bioresource Technology. 152:46-52.

Zhang, W., Yue, B., Wang, Q., Huang, Z., Huang, Q., dan Zhang, F. 2011. **Bacterial Community Composition and Abundance in Leachate of Semi-Aerobic Landfill**. Journal of Environtment Sciences 23(11), 1770-1777.

Zhao, D., Hao, Z., Wang, J., Tao, J. 2013. **Effects of pH in Irrigation Water on Plant Growth and Flower Quality in Herbaceous Peony (Paeonia lactiflora Pall)**. Sci. Hortic 154: 45-53.