

# STUDI PERANCANGAN SISTEM SERI, PARALEL DAN KOMBINASI PADA TEKNOLOGI MICROBIAL FUEL CELL SEBAGAI PRODUKSI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN LIMBAH INDUSTRI TAHU

Irpan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul Yogyakarta  
E-mail : irfanbinasdi@gmail.com

## ABSTRACT

*Indonesia is one country with high electricity consumption. Electrical energy demand in Indonesia is creasing in past few years. However, the use of crude oil as the source of energy is still dominating, while the reserve of crude oil in Indonesia is depleted. Therefore it has sparked a growing range of research done in the direction of innovative technologies that are more effective, efficient, and environmentally friendly to produce of sustainable electrical energy, such as Microbial Fuel Cell (MFC). In principle MFC technology will degrade the substrate through the activity of microorganisms to produced electrical energy. The current study focused on the utilization of tahu industry wastewater as a substrate on dual chamber MFC system equipped with a salt bridge as proton exchange. Variation circuits in the MFC system was conducted by installing the system in series, parallel and combination also was conducted variation of incubation time on the substrate for one day, one week, and one month. The optimal results of both variations will be applied to the use of tahu industry wastewater as a substrate. From this study, the highest electrical energy generated in term of power density 260, 27 mW/m<sup>2</sup>. This value obtained in MFC reactor parallel with one week of incubation time.*

*Keyword: Microbial fuel cell, dual chamber reactor, tahu wastewater, electrical energy*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Krisis energi merupakan suatu persoalan terbesar yang dihadapi oleh dunia, termasuk Indonesia. Sebagai salah satu negara dengan konsumsi energi yang tinggi. Indonesia dihadapkan pada dua isu besar yang menjadi masalah energi sekarang ini. Masalah pertama adalah ketersediaan energi konvensional yang semakin berkurang, sedangkan kebutuhan akan energi justru semakin meningkat.

Keterbatasan tersebut dapat berpengaruh terhadap harga beli bahan bakar dan besaran tarif listrik. Menurut data yang dikemukakan oleh *Handbook of energy and Economic of Indonesia* menyatakan bahwa cadangan bahan bakar fosil diperkirakan akan habis sekitar 25-30 tahun lagi. Perkiraan tersebut berdasarkan pada perhitungan penggunaan bahan bakar fosil saat ini. Masalah kedua yaitu tentang lingkungan. Minyak bumi yang digunakan sebagai energi listrik terbukti berpengaruh buruk terhadap kondisi lingkungan seperti misalnya sisa-sisa dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik berbasis tenaga uap yang berpengaruh terhadap kondisi udara dan *global warming*.

Menurut laporan dari US Environmental Protection Agency (US-EPA) pada tahun 2014 menyatakan bahwa lebih dari 84% gas rumah kaca yang

dihasilkan merupakan hasil pembakaran bahan bakar fosil. Oleh sebab itu, perlu sumber energi listrik alternatif yang berkelanjutan untuk menghindari terjadinya krisis energi serta dapat mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan.

Energi terbarukan menjadi salah satu bahasan hangat yang diperbincangkan dikalangan penggiat energi, karena seolah menjadi jawaban dari persoalan-persoalan energi yang dihadapi saat ini. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu dari bentuk energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif dimasa yang akan datang. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan teknologi yang dapat mengubah energi kimia menjadi suatu energi listrik melalui reaksi katalik dengan bantuan mikroorganisme. Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan limbah industri tahu karena air limbah industri tahu masih mengandung senyawa organik dan nutrien yang cukup tinggi yang dapat dimanfaatkan dalam sistem MFC.

### 1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah melakukan perancangan sistem MFC secara seri, paralel dan kombinasi serta melakukan variasi terhadap lama waktu inkubasi untuk menemukan konfigurasi yang tepat dalam menghasilkan energi listrik yang maksimal.

### 1.3 Batasan

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut:

1. Limbah yang digunakan yaitu limbah tahu cair yang merupakan limbah cair buatan.
2. Desain sistem *microbial fuel cel* yang digunakan adalah *dual chamber* yang setiap kompartemennya memiliki volume yang sama, yaitu 500 mL.
3. Limbah industri tahu berasal dari industri pembuatan tahu di desa Sorogaten, Murtigading Sanden, Bantul, Yogyakarta.
4. Menggunakan membran penukar berupa *salt bridge*.
5. Elektroda yang digunakan adalah jenis elektroda batang karbon grafit.
6. Peralatan yang digunakan merupakan peralatan skala kecil.

## II. DASAR TEORI

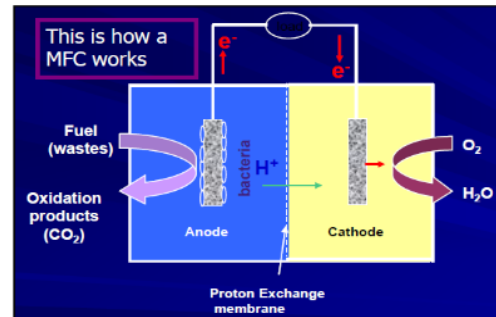
### 2.1 Microbial Fuel Cell

MFC adalah sistem bioelektrokimia yang mampu membangkitkan energi listrik dari oksidasi substrat organik dan anorganik dengan bantuan katalis mikroorganisme. Berbagai macam bentuk bahan organik dapat digunakan sebagai substrat dalam *microbial fuel cell*, seperti asam lemak, pati, glukosa, protein dan asam amino, serta air limbah dari hewan dan manusia. Kinerja MFC dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain kecepatan degradasi substrat oleh bakteri, transfer proton dalam larutan dan kecepatan transfer elektron dari bakteri ke anoda. Selain itu, kinerja MFC juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas mikroba dan substrat yang digunakan. Kinerja MFC dapat juga dipengaruhi oleh temperatur karena berkaitan langsung dengan kinetik bakteri, kecepatan reaksi oksigen yang dikatalis oleh katoda dan kecepatan transfer proton melalui larutan. Faktor lainnya adalah komponen penyusun MFC, seperti elektroda (anoda dan katoda) dan membran penukar proton, serta kelengkapan alat pada membran.

### 2.1 Prinsip Kerja MFC

Secara umum mekanisme prosesnya adalah substrat dioksidasi oleh bakteri menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit

eksternal sedangkan proton didifusikan melalui separator membran menuju katoda. Pada katoda, reaksi elektron dan proton terhadap oksigen akan menghasilkan air. Berikut merupakan skema prinsip kerja MFC.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja MFC (Liu, 2004)

Ada beberapa mekanisme yang melibatkan transfer elektron dari bakteri ke anoda, sebagai berikut:

- a. Transfer elektron langsung melalui protein membran luar sel

Dalam hal ini diperlukan kontak langsung sitokrom dengan elektroda untuk mekanisme transfer elektron.

- b. Transfer elektron dengan mediator

Transfer elektron yang efisien dapat dicapai dengan menambahkan mediator yang mampu melewati membran sel, menerima elektron dari pembawa elektron intraseluler, meninggalkan sel dalam bentuk tereduksi dan kemudian mengeluarkan elektron ke permukaan elektroda.

Namun untuk limbah, mekanisme ini tidak sesuai karena akan memakan biaya dan kemungkinan adanya racun dari beberapa mediator.

- c. Transfer elektron melalui *bacteria nanowires*

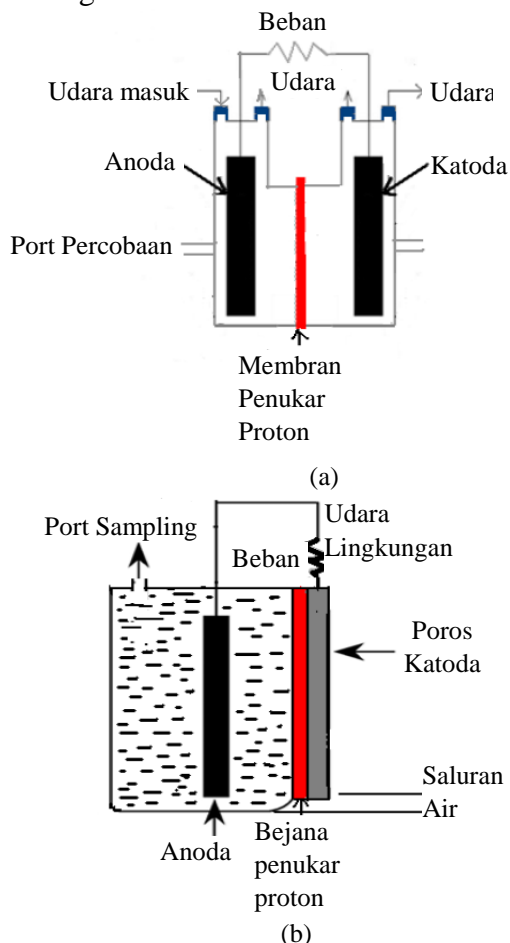
Struktur seperti pili yang disebut *nanowires* yang tumbuh pada membran sel bakteri bisa terlibat langsung dalam transfer elektron ekstraseluler dan memungkinkan reduksi langsung dari sebuah aseptor elektron yang jauh.

### 2.3 Jenis-jenis MFC

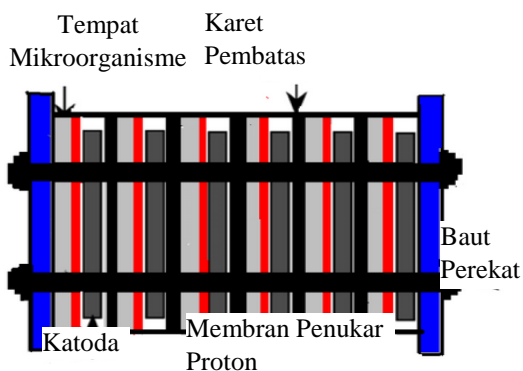
Pada perkembangannya sistem MFC memiliki beberapa macam sesuai dengan aplikasinya yaitu MFC bisa dibedakan berdasarkan desain reaktornya, penggunaan membran penukar elektron dan kultur mikroba yang digunakan dalam MFC.

1. Berdasarkan desain reaktor

MFC terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *dual chamber MFC*, *single chamber MFC* dan *stack MFC*. *Single chamber MFC* hanya mempunyai satu ruang sehingga membuat substrat dan larutan elektrolit bercampur sekaligus. *dual chamber MFC* memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh membran penukar proton (PEM) atau jembatan garam. Ruang anoda merupakan ruangan yang berisi substrat dan bakteri, sementara ruang katoda berisi larutan elektrolit. *Stack MFC* merupakan rangkaian dari beberapa unit MFC baik *dual chamber* maupun *single chamber* yang dirangkai secara seri, paralel, maupun seri paralel. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kapasitas daya yang bisa diproduksi. Skema *single* dan *dual chamber MFC* ditunjukkan dalam gambar 2.3.



Gambar 2.3. a) Desain *dual chamber MFC* b) Desain *single chamber MFC* (Karmakar et al., 2010)



Gambar 2.4. Desain *stack chamber MFC* (Sahil Shaikh, 2016)

2. Berdasarkan ada tidaknya membran pada MFC

Pada sistem MFC *dual chamber PEM* dibutuhkan untuk memfasilitasi terjadinya transfer ke ruang katoda. Sementara pada *single chamber MFC*, membran berfungsi untuk menghalangi difusi oksigen. Membran yang biasa digunakan adalah Nafion dan Ultrex CMI-7000. Hal ini karena konduktivitas proton yang tinggi serta kestabilan mekanis dan termal dari membran tersebut.

*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.

3. Berdasarkan Kultur yang Digunakan  
Penggunaan kultur sel tunggal memerlukan banyak pemeliharaan dan pekerjaan yang lebih rumit dan memakan biaya yang cukup tinggi. Selain itu kultur sel tunggal menghasilkan energi yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *mix culture*.

### III. METODOLOGI

#### 3.1 Studi Pustaka

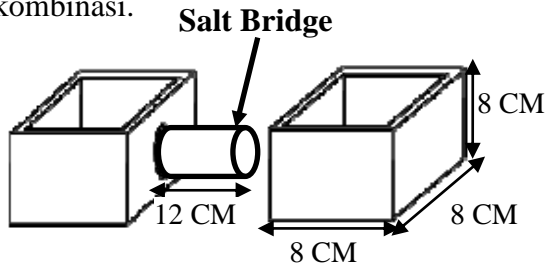
Studi pustaka dilakukan guna memperdalam materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk mengkaji faktor-faktor tertentu dalam melakukan analisa penelitian. Materi-materi yang diperoleh dapat berasal dari referensi buku, internet, dan literatur terkait. Berikut adalah uraian studi pustaka yang menunjang penelitian tugas akhir ini, antara lain :

- Teori mengenai Microbial Fuel Cell
- Teori mengenai proses limbah jadi listrik
- Teori mengenai Bakteri penghasil listrik
- Teori mengenai *salt bridge*

#### 3.2 Perancangan, Pembuatan dan Penerapan Sistem

MFC dibuat dengan volume 500ml, menggunakan elektroda batang karbon grafit ukuran panjang 5,715 cm dan lebar 0,8 cm, kemudian dilakukan pembuatan

jembatan garam sebagai membran penukar proton dengan ukuran panjang sekitar 12 cm. setelah itu dilakukan perancangan sistem MFC dengan merancang sistem MFC dengan rangkaian seri, paralel dan kombinasi.



Gambar 3.1 Desain MFC dual chamber

### 3.3 Variasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan merancang sistem rangkaian seri pada sistem *Microbial Fuel Cell* dengan menggunakan sistem *dual-chamber*, dan juga menggunakan limbah tahu sebagai substratnya dengan variasi lama waktu inkubasi substrat yaitu satu hari, satu minggu, dan satu bulan. Dimana limbah tahu sendiri diambil dari Desa Sorogaten, Murtigading Sanden, Bantul, Yogyakarta.

### 3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada sistem MFC dengan menggunakan dua instrument untuk mengukur kuat arus dan tegangan dalam penelitian ini ada dua jenis, yaitu *Analog Microampere* dan *Digital Multimeter* Sanwa Electric Instrument co., Ltd CD 800a. Sistem ini memiliki hambatan berkisar 0,88 – 2,5 kΩ. Adapun pengukuran dilakukan setiap satu jam sekali selama 12 jam lamanya perhari. Pengambilan data dilakukan pada sistem yang terpasang secara seri, paralel dan kombinasi serta variasi waktu inkubasi pada substrat limbah industri tahu.

### 3.5 Pengolahan Data

Data yang terkumpul berupa kuat arus dan tegangan diolah dengan menggunakan program Microsoft Excel 2007 guna dilakukan perhitungan *power density* untuk menentukan besaran produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem. Berikut merupakan rumus menentukan produksi listrik:

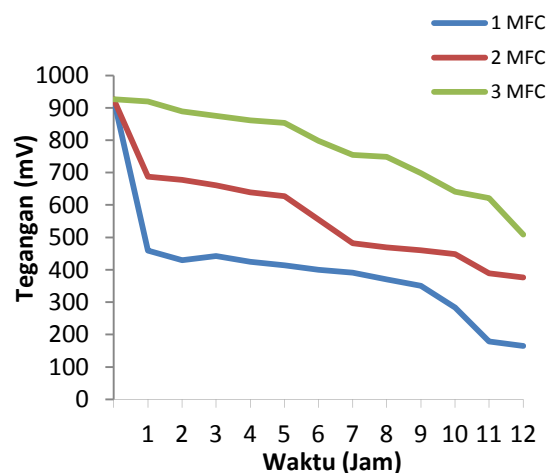
$$PowerDensity (mw/m^2) = \frac{I (mA) \times V (Volt)}{A (m^2)}$$

Persamaan 3.1 Rumus Power Density

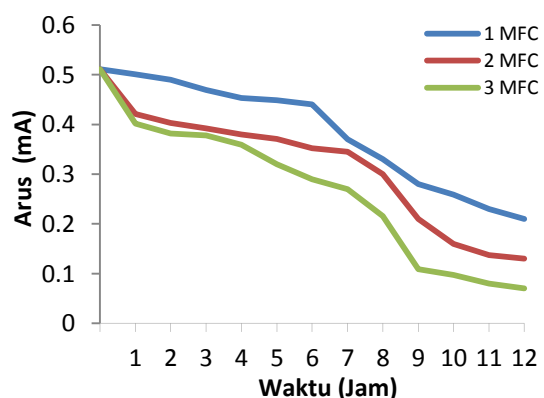
## IV. HASIL PENELITIAN

### 4.1 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Seri

Eksperimen dilakukan menggunakan substrat limbah tahu dengan volume 500 mL dengan ditambahkan ragi dengan perbandingan 1:1 (v/v), dimana kompartemen anoda dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron. Elektron yang dihasilkan merupakan langsung dari proses degradasi senyawa organik oleh mikroba itu sendiri tanpa adanya bantuan dari bahan kimia, yang kemudian disalurkan menuju elektroda secara langsung. Adapun tegangan yang diukur dalam penelitian kali ini disebut sebagai *Open Circuit Voltage* karena dalam penelitian ini, sistem MFC tidak diberikan beban atau hambatan listrik eksternal seperti resistor atau lampu. Penelitian kali ini melakukan pengukuran tegangan dan arus dengan sistem tunggal dan seri dimana terdapat 2 variasi sistem seri dengan 2 MFC dan 3 MFC. Tujuan penggabungan MFC secara seri adalah meninjau pengaruh konfigurasi reaktor terhadap produksi energi listrik. Diharapkan dengan penggabungan secara seri ini dapat menghasilkan peningkatan energi listrik yang dihasilkan. Berikut gambar 4.1 dan gambar 4.2 adalah grafik hasil pengukuran sistem tunggal dan seri.



Gambar 4.1 Perbandingan Tegangan Rangkaian Tunggal dan Seri pada MFC

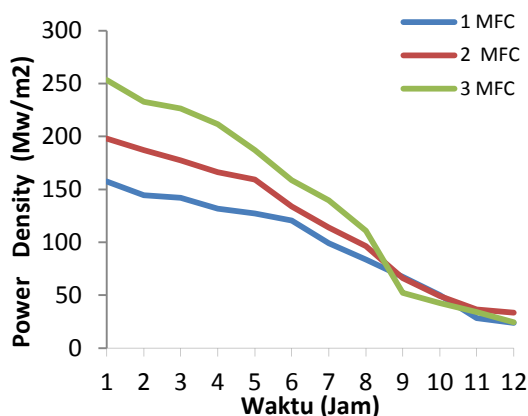


Gambar 4.2 Perbandingan Kuat Arus pada Rangkaian Tunggal dan Seri pada MFC

Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat bahwa nilai kuat arus mengalami

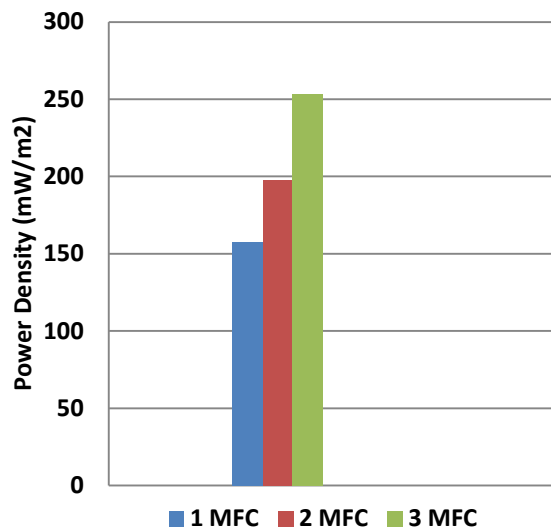
penurunan jika MFC dirangkai secara seri. Kuat arus maksimum pada reaktor tunggal *dual chamber* dengan volume 500 mL adalah sebesar 0,511 mA. Nilai ini 21,33% lebih besar dibandingkan dengan reaktor rangkaian seri yang menghasilkan kuat arus maksimum sebesar 0,402 mA. Kecilnya nilai kuat arus pada rangkaian seri terjadi karena pertambahan nilai hambatan dalam ( $R_{in}$ ). Pada rangkaian seri, total  $R_{in}$  merupakan jumlah masing-masing hambatan dari sumber tegangan, dalam hal ini reaktor MFC. Nilai  $R_{in}$  ini berbanding terbalik dengan kuat arus sehingga pertambahan  $R_{in}$  menyebabkan kecilnya kuat arus yang dihasilkan.

Berbeda dengan kuat arus, perangkaian reaktor dengan sistem seri mampu menghasilkan nilai tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan reaktor tunggal. Pada reaktor tunggal 500 mL, diperoleh tegangan maksimum sebesar 459 mV. Setelah dirangkai sistem seri 3 MFC tegangan maksimum yang dihasilkan mengalami peningkatan sebesar ~100% menjadi 920 mV. Pada prinsip rangkaian seri, tegangan total merupakan jumlah tegangan dari masing-masing sumber listrik, yaitu reaktor MFC. Data berupa kuat arus dan tegangan di atas diolah dengan persamaan 3.1 untuk kemudian mendapatkan nilai *power density* yang dapat mewakili produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem seri MFC. Adapun *power density* yang dihasilkan pada sistem seri ini tersaji dalam gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Produksi Listrik pada Sistem Seri

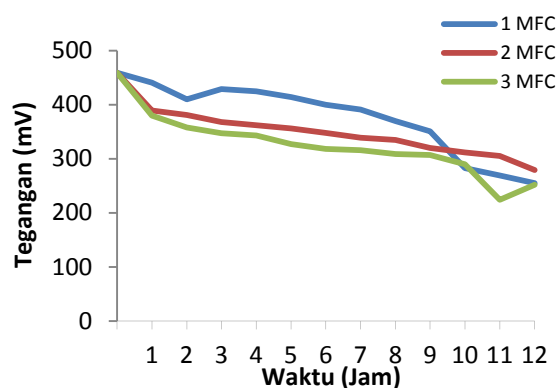
Dari grafik diatas, MFC yang dirangkai secara seri terbukti mampu meningkatkan nilai *power density* yang dihasilkan sebesar 60,83% ( $253,31 \text{ mW/m}^2$ ) dibandingkan dengan dengan penggunaan 1 MFC. Peningkatan nilai tegangan ini dapat memicu terjadinya peningkatan nilai *power density*. Oleh sebab itu, *power density* pada rangkaian seri akan lebih besar daripada rangkaian tunggal.



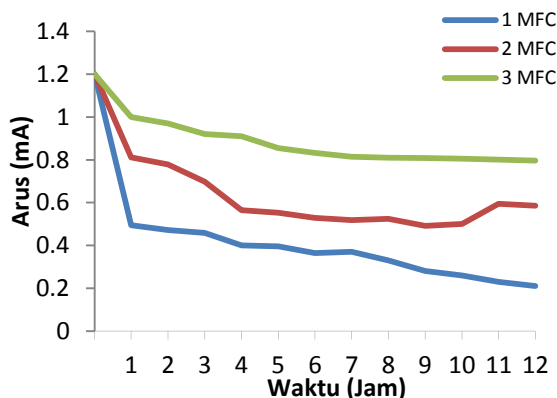
Gambar 4.4 Perbandingan *Power density* pada Variasi Rangkaian Seri

## 4.2 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Paralel

Setelah dilakukan percobaan dengan merangkaian sistem secara seri, selanjutnya peneliti melakukan percobaan dengan merangkaian sistem secara paralel. Kemudian kuat arus dan tegangan diukur selama satu siklus. Tujuan dilakukan perancangan sistem paralel ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari sistem terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan. Berikut gambar 4.5 dan gambar 4.6 hasil dari pengukuran kuat arus dan tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4.5 Perbandingan Tegangan MFC pada Rangkaian Paralel

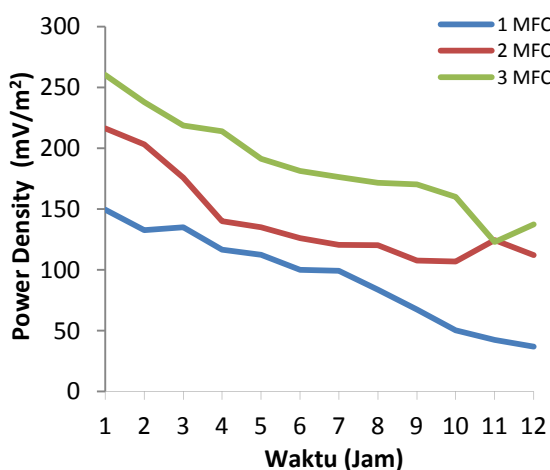


Gambar 4.6 Perbandingan Kuat Arus MFC pada Rangkaian Paralel

Dari data kuat arus dan tegangan yang dihasilkan diatas, dapat membuktikan bahwa ketika rangkaian MFC dirangkai secara paralel maka akan dihasilkan kuat arus yang semakin tinggi dan tegangan yang semakin menurun. Dari data diatas arus yang dihasilkan oleh rangkaian tunggal MFC sebesar 0,495 mA dan setelah dirangkai secara paralel besarnya kuat arus menjadi 1 mA kenaikan terjadi sebesar ~ 100%. Hal ini dikarenakan sebagian besar tahanan jika dirangkai dalam rangkaian paralel menyebabkan tahanan total akan mengecil. Oleh sebab itulah, arus total yang didapat jauh lebih besar ketika reaktor MFC dirangkai secara paralel karena kuat arus yang dihasilkan merupakan penjumlahan dari tiap-tiap rektor MFC yang dirangkai.

Berbeda dengan tegangan, perangkaian reaktor dengan sistem paralel ternyata akan mempengaruhi besaran tegangan yang dihasilkan oleh MFC dibandingkan dengan reaktor tunggal. Pada reaktor tunggal 500 mL, diperoleh tegangan maksimum sebesar 441 mV. Setelah dirangkai sistem paralel 3 MFC tegangan maksimum yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar ~ 13,83% menjadi 380 mV. Hal ini dikarenakan pada prinsipnya tegangan yang dirangkai secara paralel disetiap cabangnya akan cenderung sama dan tetap sehingga tegangan total yang dihasilkan merupakan tegangan di tiap-tiap percabangannya.

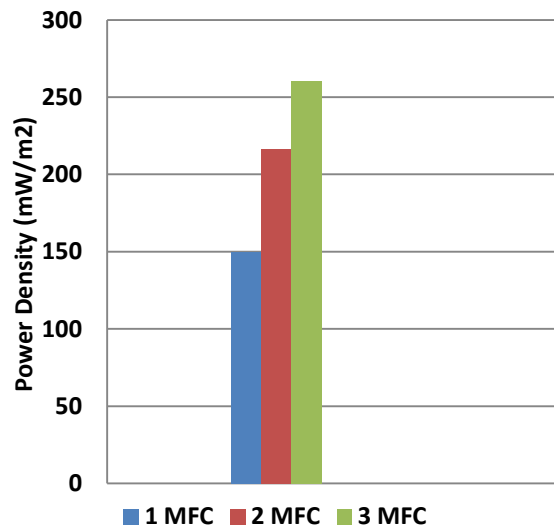
Data berupa kuat arus dan tegangan di atas diolah untuk kemudian mendapatkan nilai *power density* yang dapat mewakili produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem seri MFC. Adapun *power density* yang dihasilkan pada sistem seri ini tersaji dalam gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Produksi Listrik pada Sistem Paralel

Dari grafik diatas, MFC yang dirangkai secara paralel terbukti mampu

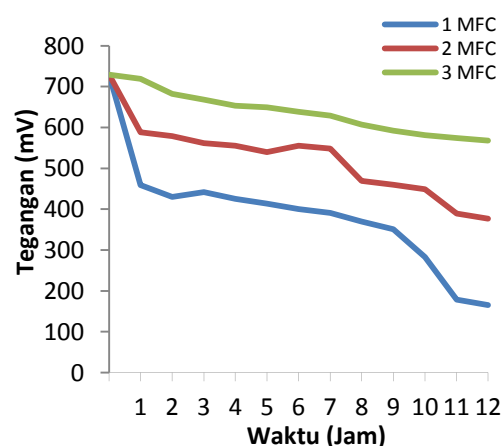
meningkatkan nilai *power density* yang dihasilkan sebesar 74,07% (260, 27 mW/m<sup>2</sup>) dibandingkan dengan penggunaan satu MFC. Berikut gambar 4.8 perbandingan *power density* pada MFC dengan sistem rangkaian paralel.



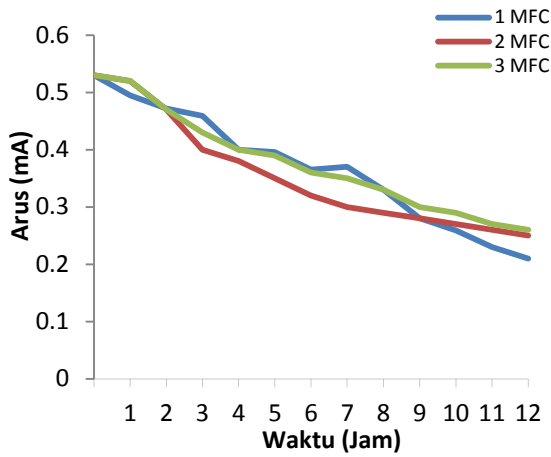
Gambar 4.8 Perbandingan *power density* pada rangkaian paralel

#### 4.3 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Seri Paralel

Eksperimen selanjutnya sistem tiga MFC 500 mL dirangkai secara seri dan paralel, dimana dua buah MFC dipasang secara seri dan satu buah MFC dipasang secara paralel. kemudian diukur kuat arus dan tegangan untuk mengetahui pengaruh dari sistem seri paralel terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan. Tujuan dari perancangan sistem seri paralel ini diharapkan mampu memproduksi energi listrik yang lebih besar. Berikut adalah grafik hasil pengukuran seri paralel pada tiga MFC.

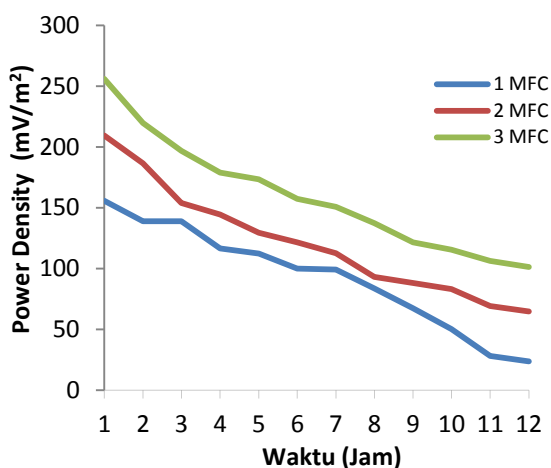


Gambar 4.9 Perbandingan Tegangan MFC pada sistem seri paralel



Gambar 4.10 Perbandingan Kuat Arus MFC pada sistem seri paralel

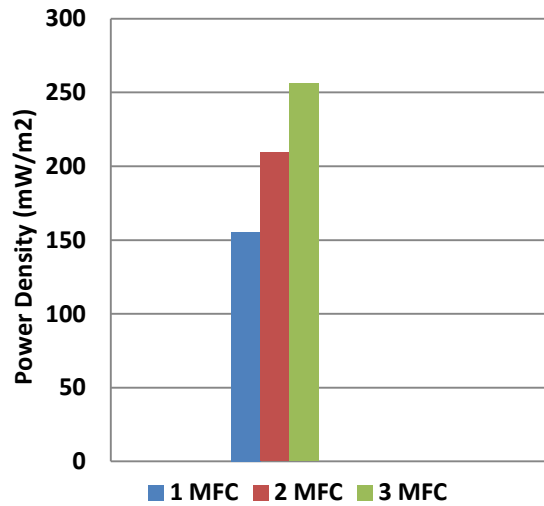
Dari data diatas, terlihat perbandingan tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh MFC yang dirangkai secara seri paralel, dimana tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel lebih besar dari rangkaian tunggal, dimana nilai tegangan maksimum yang dihasilkan oleh rangkaian tunggal adalah sebesar 459 mV sementara tegangan maksimum yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel adalah sebesar 719 mV kenaikan yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel sebesar 56,64%. Kenaikan tegangan ini dipengaruhi karena rangkaian seri yang diterapkan terlebih dahulu di dalam sistem kemudian baru dirangkai secara paralel, dari data diatas ternyata rangkaian seri paralel menghasilkan perbedaan kuat arus tidak berbeda jauh, nilai kuat arus maksimum pada rangkaian tunggal adalah sebesar 0,495 mA dan hanya mengalami kenaikan sebesar 4,8% (0,52 mA). Berikut gambar 4.11 perbandingan produksi listrik pada sistem seri paralel.



Gambar 4.11 Produksi Listrik Pada Sistem Seri Paralel

Dari data diatas sistem seri paralel mampu menghasilkan energi listrik yang jauh lebih besar dari rangkaian tunggal, dimana maksimum produksi listrik pada rangkaian tunggal adalah sebesar 155,62

mW/m<sup>2</sup> sedangkan produksi energi listrik maksimum yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel mengalami kenaikan sebesar 64,55% (256,08 mW/m<sup>2</sup>). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Perbandingan *power density* pada sistem seri paralel

Dari data diatas, dapat terlihat bahwa tegangan tertinggi dapat dicapai saat reaktor dirangkai secara seri, yaitu sebesar 920 mV. Nilai ini meningkat hampir dua kali lipat terhadap jenis rangkaian yang lain. Pada rangkaian seri, semakin banyak reaktor yang dirangkai secara seri maka makin besar tegangan yang dihasilkan.

Tabel 4.1 Hasil Ketiga Percobaan

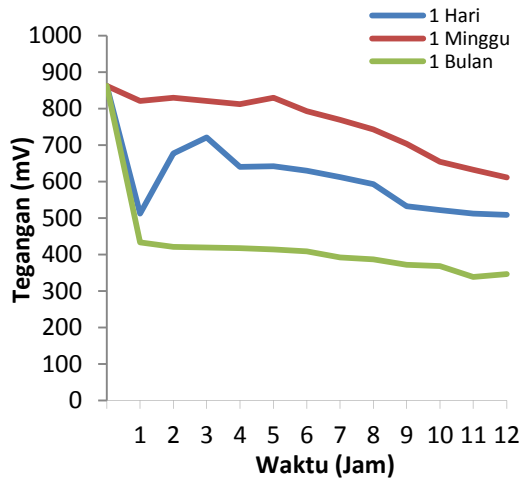
Jenis Rangkaian pada Reaktor	<i>Power density</i> (mW/m <sup>2</sup> )	Tegangan (mV)
Tunggal	157,51	459
Seri	253,32	920
Paralel	260,27	380
Seri-paralel	256,08	719

Dari data diatas, pada prinsipnya rangkaian seri akan menghasilkan tegangan tertinggi, rangkaian paralel menghasilkan *power density* tertinggi, dan rangkaian seri paralel menghasilkan tegangan dan *power density* yang nilainya diantara kedua rangkaian seri dan rangkaian paralel.

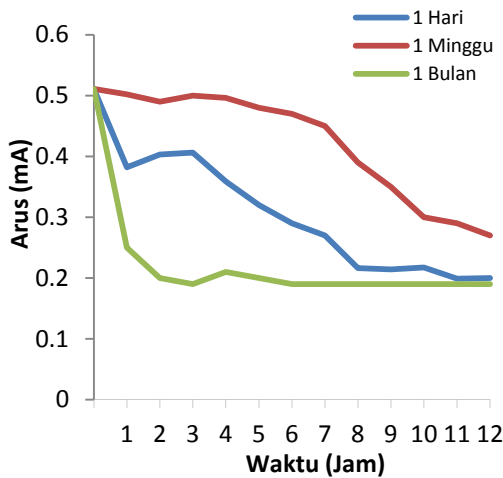
#### 4.4 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Setelah didapatkan jenis rangkaian yang menghasilkan *power density* yang lebih besar, yaitu pada rangkaian tiga MFC. Kemudian dilakukan variasi waktu inkubasi

pada limbah tahu. Kompartemen anoda kembali dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron. Kuat arus dan tegangan diukur selama satu siklus. Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh 3 pasang MFC dengan durasi waktu inkubasi yang berbeda tersaji dalam gambar 4.13 dan gambar 4.14.

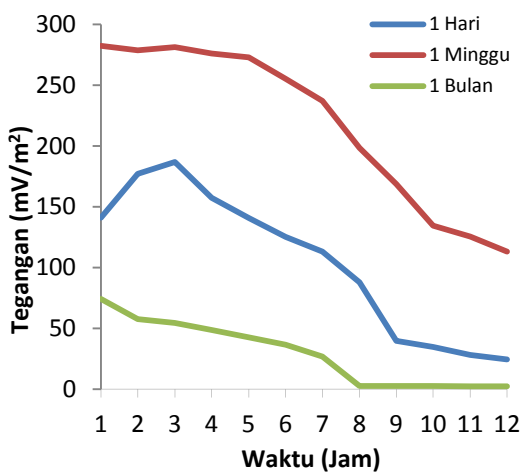


Gambar 4.13 Perbandingan Tegangan pada Variasi Lama Waktu Inkubasi



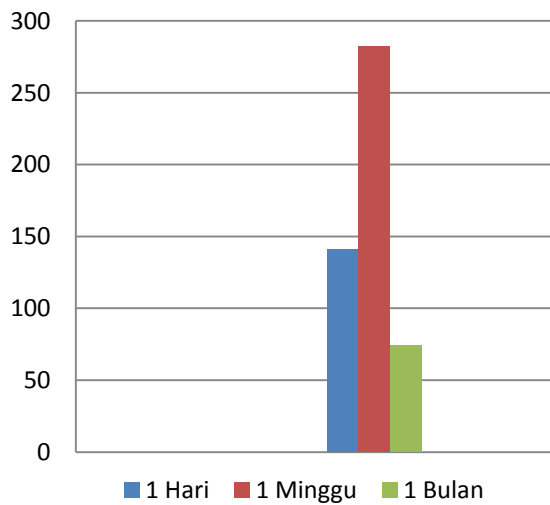
Gambar 4.14 Perbandingan Kuat Arus pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Power density yang dihasilkan sistem MFC dengan variasi lama waktu inkubasi tersaji dalam gambar 4.15.



Gambar 4.15. Produksi Listrik pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Dari data pengamatan yang didapatkan, terlihat bahwa limbah tahu dengan inkubasi satu minggu memberikan produksi listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu inkubasi satu hari dan satu bulan. Perbandingan energi persatuan luas yang dihasilkan masing-masing substrat dengan lama waktu inkubasi yang berbeda tersaji dalam gambar 4.16.



Gambar 4.16. Perbandingan power density pada variasi Lama Waktu Inkubasi

Hal ini disebabkan pada waktu inkubasi satu minggu, mikroba yang tinggal didalam kompartemen akan mendegradasi senyawa organik lebih stabil dibanding limbah dengan waktu inkubasi satu hari. Hasil pengamatan pada penelitian MFC ini menggunakan substrat limbah tahu dengan lama waktu inkubasi satu bulan menunjukkan hasil yang berbeda pula. Limbah tahu dengan waktu inkubasi satu bulan menghasilkan power density maksimal yang paling rendah jika dibandingkan dengan substrat pada awal eksperimen, yaitu 141 mW/m<sup>2</sup>.

Hal ini disebabkan oleh terdegradasinya kandungan organik pada substrat seiring dengan diinkubasikan. Namun dari data diatas, limbah dengan waktu inkubasi satu bulan menghasilkan kuat arus dan tegangan yang lebih stabil dari waktu inkubasi satu hari dan 1 minggu. Hal ini dikarenakan waktu inkubasi satu bulan dapat membentuk biofilm yang lebih stabil pada substrat kemudian biofilm inilah yang membuat MFC memproduksi listrik menjadi lebih lama. Mikroba membutuhkan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya dan untuk bereproduksi sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama agar terbentuk konsorsium mikroba yang stabil.



Biofilm yang stabil akan mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga produksi listrik hasil metabolisme mikroba yang terbentuk agak kecil di awal eksperimen namun cenderung lebih stabil seiring dengan berjalannya waktu karena kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik dalam substrat. Namun, jika terlalu lama maka senyawa organik yang terdapat dalam limbah akan terus terdegradasi. Jika tidak ada senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun dikarenakan tidak ada lagi senyawa yang dapat di oksidasi oleh bakteri.

## V. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Limbah Tahu menghasilkan tegangan maksimum 920 mV dan kuat arus maksimum 0,5 mA serta menghasilkan *power density* sebesar 253,31 mW/m<sup>2</sup> ketika dirangkai secara seri dengan durasi waktu kerja ~40 jam kemudian akan turun pada jam ke 42.
2. Perancangan sistem seri yang dilakukan berhasil meningkatkan energi listrik maksimum mencapai 100% untuk tegangan, tetapi justru menyebabkan kuat arus berkurang 19,76%
3. Limbah tahu menghasilkan tegangan maksimum 459 mV dan kuat arus maksimum 1 mA serta menghasilkan *power density* yang tertinggi jika dibandingkan dengan sistem rangkaian lain yaitu sebesar 260,67 mW/m<sup>2</sup>.
4. Limbah tahu menghasilkan tegangan maksimum 719 mV dan kuat arus 0,52 mA. Serta menghasilkan *power density* sebesar 256,08 mW/m<sup>2</sup> ketika dirangkai secara kombinasi atau campuran.
5. Rangkaian paralel merupakan rangkaian terbaik untuk sistem MFC karena menghasilkan produksi listrik tertinggi jika dibandingkan dengan rangkaian yang lainnya.
6. Limbah tahu dengan waktu inkubasi 1 minggu menghasilkan energi listrik lebih banyak dari sistem MFC dibanding dengan limbah industri tahu dengan waktu inkubasi 1 hari dan 1 bulan, yaitu dengan *power density* maksimum 141 mW/m<sup>2</sup>.

## DAFTAR REFERENSI

Cheng, Liu 2006. *Increased performance of single chamber microbial fuel cells*

*using an improved cathode structure.* Electrochemistry Communications 8: 489-494

Guerro-Larossa A, Scott K, Katari KP, Godinez C, Head IM, dan Curtis T. 2010. *Open circuit versus closed circuit enrichment of anodic biofilms in MFC: effect on performance and anodic communities.* Appl Microbiol Biotechnol 87: 1699-1713

Ieropoulos, I., J. Greenman. 2008. *Microbial fuel cells based on carbon veil electrodes: Stack configuration and scalability.* International Journal Of Energy Research.

Ibrahim B, Suptijah P, dan Rosmalawati S. 2014. *The performance of Series Circuits In Microbial Fuel Cell's System From The Fisheries Wastewater.* Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. JPHPI: Vol 17 No 1.

Idham F, Halimi S, dan Latifah S. 2009. *Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell.* Teknologi Hasil Perikanan Institut Pertanian Bogor.

Kristin E. 2012. *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe.* Teknologi Bioproses Universitas Indonesia.

Kurnianingsih, Nia. 2009. *Bakteri Microbial Fuel Cell.* <http://www.alpensteel.com/article/65-109-energi-fuel-cell-bahan-bakar/1740--bakteri-mikrobal-fuel-cell.html> (Diakses Januari 2018)

Li, Yao. 2007. *Electricity generation using a baffled microbial fuel cell convenient for stacking.* Bioresource Technology.

Liu, H., Cheng, S., Logan B. 2005. *Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell.* Environ. Sci. Technol. : 39, 658-662.

- Liu, H. 2008. *Microbial Fuel Cell: Novel Anaerobic Biotechnology for Energy Generation from wastewater*. Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. S. K. Khanal. Iowa, Blackwell Publishing: 221-243.
- Logan and Regan. 2006. *Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells*. *TRENDS in Microbiology* 14: 512-518.
- Momoh, Yusuf OL, Naeyor B. 2010. *A novel electron acceptor for microbial fuel cells: Nature of circuit connection on internal resistance*. *J Biochem Tech* 2(4): 216-220.
- Nevin, Kim. 2009. *Anode Biofilm Transcriptomics Reveals Outer Surface Components Essential for High Density Current Production in Geobacter sulfurreducens Fuel Cells*. *PloS ONE*.
- Novitasari D. 2011. *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) Untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*. Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Velasquez-Orta, Sharon B. 2009. *The effect of flavin electron shuttles in microbial fuel cells current production*. Springer-verlag.
- Scott and Murano. 2007. *Microbial fuel cells utilising carbohydrates*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 82: 92-100.
- Sidharta ML, dkk. 2007. *Pemanfaatan Limbah Cair sebagai Sumber Energi Listrik pada Microbial Fuel Cell*. Institut Teknologi Bandung.
- Sudaryati, N. L. G., I. W. Kasa. 2007. *Pemanfaatan sedimen perairan tercemar sebagai bahan lumpur aktif dalam pengolahan limbah cair industri tahu*. *Ecotrophic*.
- Sumarsih. 2007. *Pertumbuhan Mikroba Bab I*. <http://sumarsih07.files.wordpress.com/2008/11/i-pertumbuhan-mikroba.pdf> (diakses Februari 2018)
- Sustrisna, Kadek Fendy. *Indonesia Alami Lonjakan dalam Konsumsi Energi*. <http://www.alpensteel.com/article/53-101-energi-terbarukan--renewable-energi/2966--indonesia-alami-lonjakan-dalam-konsumsi-energi.html> (diakses Januari 2018)
- Trinh NT, Park J H, dan Kim B. 2009. *Increased generation of electricity in a microbial fuel cell using Geobacter Sulfurreducens*. *Korean J. Chem. Eng.*, 26(3): 748-753.
- Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces cerevisiae dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.