

**PEMANFAATAN ECENG GONDOK SEBAGAI SUBSTRAT PADA
SISTEM *MICROBIAL FUEL CELL* DENGAN MENGGUNAKAN
MIKROORGANISME *SACCHAROMYCES CEREVISIAE***

**SKRIPSI
TEKNIK KIMIA**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**RACHDIAN RIZQI ABADI
NIM. 145061100111003**

**LUDHYA ATNIES PRATAMA PUTRA
NIM. 145061101111022**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

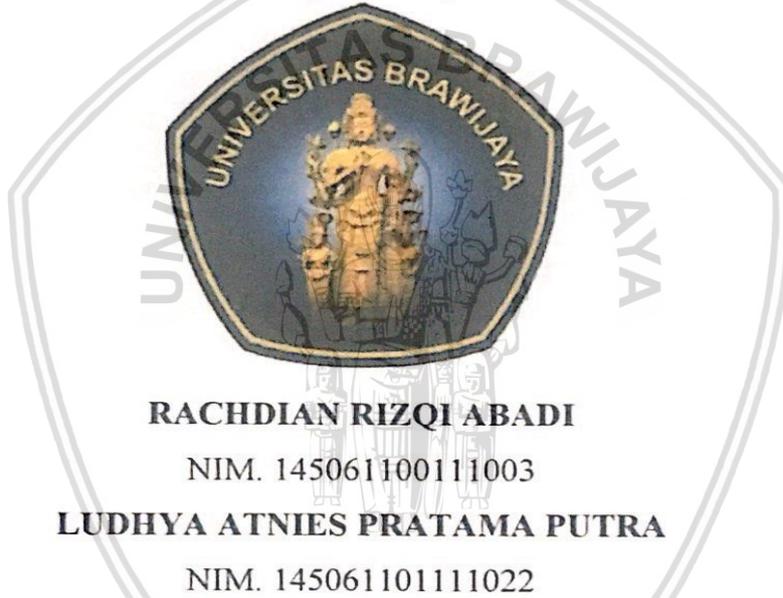


LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN ECENG GONDOK SEBAGAI SUBSTRAT PADA SISTEM *MICROBIAL FUEL CELL* DENGAN MENGGUNAKAN MIKROORGANISME *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

SKRIPSI
TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RACHDIAN RIZQI ABADI

NIM. 145061100111003

LUDHYA ATNIES PRATAMA PUTRA

NIM. 145061101111022

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 5 November 2018

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani., MS.
NIP. 19520504 198002 2 001

Dosen Pembimbing II

Vivi Nurhadianty., ST., MT.
NIK. 201304 860815 2 001



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi., MS.
NIP. 19600126 198603 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul Skripsi : Pemanfaatan Eceng Gondok Sebagai Substrat Pada Sistem
Microbial Fuel Cell Dengan Menggunakan Mikroorganisme
Saccharomyces Cerevisiae

Nama Mahasiswa/NIM : 1. Rachdian Rizqi Abadi (145061100111003)
2. Ludhya Atnies Pratama Putra (145061101111022)

Program Studi S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

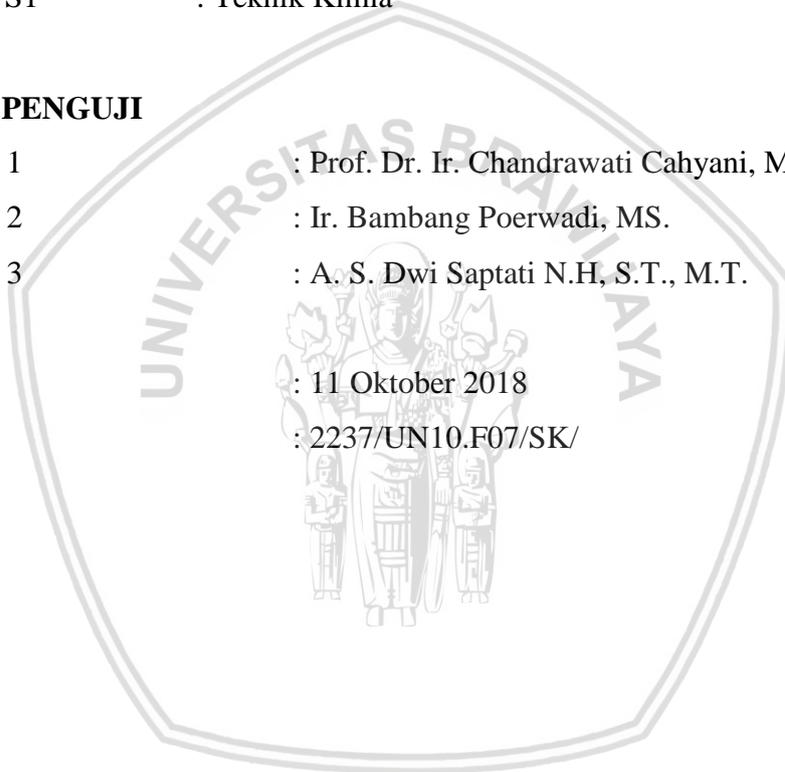
Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani, M.S.

Dosen Penguji 2 : Ir. Bambang Poerwadi, MS.

Dosen Penguji 3 : A. S. Dwi Saptati N.H, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : 11 Oktober 2018

SK Penguji : 2237/UN10.F07/SK/



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 5 November 2018

Mahasiswa I,



RACHDIAN RIZOI ABADI

NIM. 145061100111003

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 113/UN10.107.10/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

RACHDIAN RIZQI ABADI

Dengan Judul Skripsi :

Pemanfaatan Eceng Gondok sebagai Substrat pada Sistem *Microbial Fuel Cell* dengan menggunakan Mikroorganisme *Saccaromyces cerevisiae* (*Utilisation of Water Hyacinth as a Substrate in Microbial Fuel Cell using Saccaromyces cerevisiae Microorganism*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

25 Juli 2018



Ketua Program Studi Teknik Kimia

Jr. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 5 November 2018

Mahasiswa II,



LUDHYA ATNIES PRATAMA PUTRA

NIM. 145061101111022

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 111/UN10.F07.18/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

LUDHYA AINIES PIATAMA PUTRA

Dengan Judul Skripsi :

Pemanfaatan Eceng Gondok sebagai Substrat pada Sistem *Microbial Fuel Cell* dengan menggunakan Mikroorganisme *Saccaromyces cerevisiae* (*Utilization of Water Hyacinth as a Substrate in Microbial Fuel Cell using *Saccaromyces cerevisiae* Microorganism*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 25 OCT 2018

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

Puji Syukur Kami haturkan kepada:

Allah SWT yang senantiasa memberikan nikmat & hidayah-Nya

Shalawat serta salam Kami sampaikan kepada:

Rasulullah Shallallahu alaihi wasallam, keluarga, & sahabat beliau

Kami persembahkan Skripsi kami ini kepada:

- 1. Seluruh Warga Negara Indonesia.*
- 2. Ibunda & Ayahanda serta Keluarga tercinta,*
- 3. Setiap individu yang selalu bertanya: "Kapan Lulus?"*

Semoga dengan selesainya skripsi kami ini,

*Dapat menginspirasi para pembaca untuk tetap berinovasi
Untuk menyelesaikan masalah yang ada di lingkungan sekitar kita*

Pesan dari kami,

Jangan Ceroboh

RINGKASAN

RACHDIAN RIZQI ABADI dan LUDHYA ATNIES PRATAMA PUTRA, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2018, *Pemanfaatan Eceng Gondok Sebagai Substrat Pada Sistem Microbial Fuel Cell Dengan Menggunakan Mikroorganisme Saccharomyces Cerevisiae*, Dosen Pembimbing: Chandrawati Cahyani dan Vivi Nurhadianty.

Seiring bertambahnya tahun, kondisi energi di dunia akan mengalami krisis ketika hanya menggunakan sumber energi fosil. Maka diperlukan sumber energi alternatif salah satunya bisa berupa *microbial fuel cell* atau bisa disingkat MFC. MFC sendiri menggunakan bantuan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik yang nantinya akan menghasilkan listrik. Disisi lain, tanaman eceng gondok yang melimpah dan mempunyai kandungan selulosa tinggi, serta salah satu mikroorganisme yang dapat memecah glukosa dan mudah didapatkan yaitu *Saccharomyces cerevisiae*, maka dapat dilakukan penelitian untuk memanfaatkan kedua komponen tersebut pada sistem MFC. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini yakni pemanfaatan serta optimasi eceng gondok sebagai substrat pada sistem MFC dengan menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*.

Paramater substrat eceng gondok dapat dimanfaatkan dapat dilihat melalui energi listrik yang berupa arus, tegangan dan daya yang dihasilkan dalam sistem MFC. Sistem MFC dijalankan menggunakan sistem *dual chamber* dan pengukurannya dibantu alat multimeter. Langkah optimasi dapat ditempuh dengan proses *pretreatment* delignifikasi untuk menghilangkan lapisan lignin dan hidrolisis untuk mengkonversi selulosa menjadi glukosa. Optimasi ini dapat diukur dari meningkatnya kadar glukosa dan dapat diuji menggunakan alat *refractometer*. Sehingga Variabel yang muncul dalam penelitian ini yaitu MFC dengan substrat eceng gondok tanpa *pretreatment*, dengan *pretreatment* hidrolisis, dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai substrat pada sistem MFC dengan daya listrik yang relatif rendah dengan tegangan 0,056 V pada jam ke-48. Oleh karena itu perlu dilakukannya optimasi untuk meningkatkan kadar glukosa pada eceng gondok. Dari dua optimasi yang dilakukan, yang paling optimal adalah dengan melakukan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis. Awalnya kadar glukosa eceng gondok hanya 1%, setelah dilakukannya *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis kadar glukosa menjadi 5,6% dalam 100 gram eceng gondok. Daya listrik yang dihasilkan mencapai titik tertinggi yang dapat dicapai sistem MFC dengan substrat ini yakni 1,501 mW dengan rincian arus listrik sebesar 1,25 mA dan tegangan sebesar 1,201 V pada jam ke-6. Namun, pemanfaatan eceng gondok sebagai substrat pada sistem MFC ini masih belum maksimal. Disarankan untuk mencari langkah optimasi dan mikroorganisme yang lain untuk mencapai potensi maksimal pemanfaatan eceng gondok.

Kata Kunci: Delignifikasi, Eceng gondok, Hidrolisis, *Microbial fuel cell*, *Saccharomyces cerevisiae*,

SUMMARY

RACHDIAN RIZQI ABADI and LUDHYA ATNIES PRATAMA PUTRA, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering in Brawijaya's University, August 2018, *Utilization of Water Hyacinth as a Substrate in Microbial Fuel Cell using Saccharomyces Cerevisiae Microorganism*, Supervisor: Chandrawati Cahyani and Vivi Nurhadianty.

While years is increasing, energy conditions in the world will encounter crisis if we using energy fossil on and on. Then alternative energy is needed such as *microbial fuel cell* (MFC). MFC itself uses the help of microorganisms to degrade organic material which will produce electricity. Since the water hyacinth plant is abundant and has high cellulose content, and one of the microorganisms that can break down glucose and is easily obtained is *Saccharomyces cerevisiae*. Therefore the purpose of this study is the use and optimization of water hyacinth as a substrate on the MFC system using *Saccharomyces cerevisiae*.

Parameters of water hyacinth substrate can be utilized or not, can be seen from produce of the electrical energy in the form of current, voltage and power in the MFC system. The MFC system is running with a dual chamber system and it's measured by a multimeter tool. Optimization steps can be taken by the pretreatment process like delignification, process to remove the lignin layer and hydrolysis, process to convert cellulose to glucose. This optimization can be measured from increasing of glucose levels and can be tested using a refractometer. So the variables in this study are MFC with water hyacinth substrate without pretreatment, with hydrolysis pretreatment, and with delignification and hydrolysis pretreatment.

The results of this study indicate that water hyacinth can be used as a substrate in the MFC system with the electrical power produced is very low with a voltage of 0.056 V in the 48th hour. Therefore, it is necessary to do an optimization to increase glucose levels in water hyacinth. From the two optimizations which is carried out, the most optimal one is by using a delignification and hydrolysis pretreatment. Initially the water hyacinth glucose level is only 1%, after doing the delignification and hydrolysis pretreatment, glucose levels increase to 5.6% in 100 grams of water hyacinth. The Power which is generated reach the highest point that can be achieved by the MFC system with this substrate is 1.501 mW with details of the electric current of 1.25 A and a voltage of 1.201 V at the 6th hour. However, the utilization of water hyacinth as a substrate in the MFC system is still not optimal. It is recommended to look out another optimization steps and microorganisms to achieve the maximum potential for the utilization of water hyacinth.

Keyword: Delignification, Hydrolysis, Microbial fuel cell, *Saccharomyces cerevisiae*, Water hyacinth



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warohmatullahi wabarokatuh.

Pertama, mari kita panjatkan puji syukur yang mendalam kepada Allah subhanallahu wa ta'ala. Atas setiap nikmat, keberkahan, serta hidayah-Nya sehingga kami mampu menyelesaikan penyusunan Skripsi ini. Kedua, shalawat serta salam terindah semoga senantiasa dilimpahkan kepada panutan hidup kami, beliau Rasulullah shallallahu alaihi wasallam. Semoga shalawat tersebut bersambung kepada keluarga dan sahabat beliau.

Penyusunan skripsi yang berjudul **“PEMANFAATAN ECENG GONDOK SEBAGAI SUBSTRAT PADA SISTEM *MICROBIAL FUEL CELL* DENGAN MENGGUNAKAN MIKROORGANISME *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*”** ini ditujukan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana teknik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penyusun menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ir. Bambang Poerwadi, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya;
2. Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani, MS., dan Vivi Nurhadianty, ST. MT., selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah membimbing dalam proses pelaksanaan skripsi;
3. Aji Hendra Sarosa, ST., MT., dan Luthfi Kurnia Dewi, ST., MT., selaku Dosen Pendamping penulis yang telah mendampingi dalam proses pelaksanaan skripsi;
4. Rifa Rahma, ST. selaku PLP Laboratorium Teknik Kimia yang telah membantu penulis di laboratorium bioproses selama penelitian skripsi;
5. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi;
6. Pengurus wisata waduk selorejo yang telah menyediakan eceng gondok secara cuma-cuma sehingga kami bisa melaksanakan penelitian ini;
7. Orang tua serta keluarga penulis atas segala perhatian dan kasih sayang, bantuan materi maupun non materi yang tak ternilai harganya dan doa-doa yang senantiasa dipanjatkan sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan;
8. Seluruh KBMT dan KBMTK FT-UB yang telah memberi semangat dan mendorong penulis untuk segera menyelesaikan penyusunan skripsi ini;



9. Angkatan Teknik Kimia 2014 yang selalu ada untuk penulis baik dalam kondisi susah maupun senang sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan;
10. Rekan-rekan penulis terlebih lagi untuk dewan dan staf BEM TEKNIK UB 2017/2018, anggota DPO RKIM UB 2017/2018, anggota DPA Teknik Kimia UB 2017/2018, anggota TPPK-E, anggota kepanitiaan PROBINMABA ATOM 2018, ketua angkatan Teknik Kimia UB 2014, Hesti, Feli, Agatha, Fitrah serta Reny Oktapianti yang telah memberikan dukungan moril bagi penulis dalam proses penyusunan skripsi dan;
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam berbagai bentuk selama proses penyusunan skripsi.

Terakhir, penulis berharap dengan selesainya Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya. Setiap saran dan kritik dari berbagai pihak sangat diharapkan oleh penulis demi kebaikan penelitian ini. Demikian, penulis menyampaikan terima kasih.

Malang, 20 September 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Microbial Fuel Cell</i>	5
2.1.1. Prinsip Kerja MFC	6
2.1.2. Komponen MFC	7
2.2. Energi Listrik	11
2.3. <i>Saccharomyces cerevisias</i>	13
2.4. Eceng Gondok	16
2.5. Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Jenis Penelitian	25
3.2. Variabel Penelitian	25
3.2.1. Variabel Bebas	25
3.2.2. Variabel Terikat	25
3.2.3. Variabel Kontrol	26
3.3. Rancangan Penelitian	26

3.3.1.	Membuat Kurva Standar Pertumbuhan <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	26
3.3.2.	Persiapan Substrat.....	26
3.3.3.	Pelaksanaan.....	26
3.3.4.	Pengukuran.....	26
3.4	Bahan dan Alat	27
3.4.1.	Bahan	27
3.4.2.	Alat.....	27
3.5	Desain Alat	28
3.6	Tahap Pelaksanaan dan Pengukuran Penelitian.....	29
3.6.1.	Persiapan <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	29
3.6.2.	Pembuatan Kurva Pertumbuhan.....	29
3.6.3.	Persiapan Substrat.....	30
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	32
3.7.1.	Pembuatan Media.....	32
3.7.2.	Penumbuhan <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	33
3.7.3.	Pembuatan Kurva Pertumbuhan.....	34
3.7.4.	Pembuatan Substrat Eceng Gondok Tanpa <i>Pretreatment</i>	35
3.7.5.	Pembuatan Substrat Eceng Gondok dengan <i>Pretreatment</i> Hidrolisis	36
3.7.6.	Pembuatan Substrat Eceng gondok dengan <i>Pretreatment</i> Delignifikasi dan Hidrolisis	37
3.7.7.	Pembuatan Jembatan Garam	38
3.7.8.	Eksperimen MFC.....	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1.	Kinerja <i>Microbial Fuel Cell</i> dengan Substrat Eceng Gondok.....	39
4.2.	Optimasi <i>Microbial Fuel Cell</i>	41

4.2.1. Kinerja <i>Microbial Fuel Cell</i> Dengan Substrat Eceng Gondok <i>Pre-treatment</i> Hidrolisis	42
4.2.2. Kinerja <i>Microbial Fuel Cell</i> Dengan Substrat Eceng Gondok <i>Pre-treatment</i> Delignifikasi dan Hidrolisis.....	44
BAB V KESIMPULAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 - Penelitian Terdahulu 21



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prinsip Kerja Sistem MFC.....	6
Gambar 2.2 Elektroda Batang Grafit.....	10
Gambar 2.3 - Pertumbuhan mikroorganismen pada media batch	14
Gambar 2.4 - Struktur kimia selulosa	19
Gambar 2.5 - Struktur Kimia Hemiselulosa	20
Gambar 2.6 - Struktur dasar Lignin.....	20
Gambar 3.1 - Rangkaian alat <i>Microbial Fuel Cell</i>	28
Gambar 3.2 - Diagram alir pembuatan media	32
Gambar 3.3 - Diagram alir Penumbuhan <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	33
Gambar 3.4 - Diagram alir Pembuatan Kurva Pertumbuhan.....	34
Gambar 3.5 - Diagram alir Pembuatan Substrat Eceng gondok tanpa <i>Pretreatment</i>	35
Gambar 3.6 - Diagram alir Pembuatan Substrat Eceng Gondok dengan <i>Pretreatment</i> Hidrolisis	36
Gambar 3.7 - Diagram alir Pembuatan Substrat Eceng gondok dengan <i>Pretreatment</i> Delignifikasi dan Hidrolisis.....	37
Gambar 3.8 - Diagram alir Eksperimen MFC	38
Gambar 4.1 – Grafik Pengamatan MFC dengan Substrat Eceng Gondok Tanpa <i>Pretreatment</i> ; (a) Arus (b) Tegangan (c) Daya	41
Gambar 4.2 – Grafik Pengaruh <i>Pretreatment</i> terhadap kadar glukosa pada substrat.....	42
Gambar 4.3 – Grafik Pengamatan Kinerja MFC dengan substrat eceng gondok <i>pretreatment</i> hidrolisis; (a) Arus (b) Tegangan (c) Daya	44
Gambar 4.4 – Grafik Pengamatan Kinerja MFC dengan <i>pretreatment</i> delignifikasi dan hidrolisis; (a) Arus (b) Tegangan (c) Day	48
Gambar 8. 1. Kurva Pertumbuhan <i>S. cerevisiae</i> pada media PDB (<i>Potatoes Dextrose</i> <i>Broth</i>).....	56



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring bertambahnya waktu, penduduk dan kemajuan bangsa akan menyebabkan kebutuhan energi Indonesia terus meningkat (Djamin, 2009). Pada tahun 2015, konsumsi tenaga listrik dapat mencapai nilai 200 TWh. Dapat diproyeksikan pula pada tahun 2025 mencapai nilai 520 TWh dan pada tahun 2050 mencapai 2.200 TWh (Outlook ESDM, 2016). Karena terbatasnya cadangan energi fosil yang ada, maka perlu dilakukan pemanfaatan energi alternatif secara bertahap. Banyak penelitian yang berlangsung untuk mencari sumber energi terbarukan/alternatif seperti biomassa, angin, panas bumi, tenaga air, sinar matahari serta fuel cell (Pant dkk., 2012).

Fuel cell merupakan rangkaian alat dengan sistem elektrokimia yang menghasilkan energi listrik dari energi kimia selama terdapat elektrolit (shukla dkk, 2004). Jenis *fuel cell* yang telah digunakan dan diteliti saat ini ada bermacam-macam. *Fuel cell* yang memanfaatkan biokatalis untuk mengubah bahan kimia menjadi listrik berbasis biologi disebut dengan *microbial fuel cell* atau dapat disingkat dengan MFC (Kordesch dan Simader, 2001). Jika dibandingkan dengan *fuel cell*, MFC memiliki beberapa keuntungan seperti lebih ekonomis, ramah lingkungan serta menggunakan energi terbarukan. MFC merupakan alat bio-elektrokimia dimana limbah organik degradasi menjadi molekul yang lebih kecil, mengeluarkan elektron dan proton yang nantinya akan menghasilkan tenaga listrik. Dengan memanfaatkan mikroorganisme pada reaksi bioelektrokimia, MFC dapat menghasilkan energi listrik dari energi kimia. (Das, 2018).

Beragam jenis mikroorganisme yang telah digunakan pada sistem MFC ini seperti halnya *Geobacter sulfurreducens* (Richter dkk, 2009; Yi dkk, 2009; Trinh dkk, 2009), *Escherichia coli* (Scott dkk, 2007), *Lactococcus lactis* (Masuda, 2010), *Saccharomyces cerevisiae* (Zahara, 2011). Selain mikroorganisme, substrat yang digunakan pada sistem MFC ini juga bisa dalam berbagai macam bentuk seperti gula sederhana (glukosa) sampai bahan organik kompleks seperti limbah cair industri atau pertanian. Namun dibutuhkan energi yang tinggi untuk memecah kandungan bahan organik kompleks, tidak seperti gula sederhana. Dikarenakan adanya kandungan lignoselulosa,

sehingga dibutuhkannya perlakuan awal seperti kimiawi, biologis, panas ataupun mekanis untuk meningkatkan efisiensi (Das, 2018)

Eceng gondok dikategorikan sebagai gulma perairan yang mampu berkembang biak secara cepat dan menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan (Patil dkk, 2012). Dengan tingginya nilai pertumbuhan dan susahnya pengendalian eceng gondok maka dibutuhkan pemanfaatan lebih lanjut akan eceng gondok ini. Karena kandungan eceng gondok yaitu 60% selulosa, 17% lignin dan 8% hemiselulosa (Ahmed, 2012). Dengan tingginya kandungan selulosa dan jumlah yang melimpah, tentu eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai substrat pada sistem MFC.

Berdasarkan penelitian terdahulu diatas, belum pernah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan eceng gondok sebagai substrat dalam sistem MFC dengan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Perlu juga dilakukan optimasi untuk memperoleh hasil yang maksimal. Optimasi dapat berupa perlakuan awal untuk eceng gondok. Oleh karena itu penelitian ini perlu dilakukan untuk membantu memecahkan masalah energi dan masalah eceng gondok di Indonesia.

1.2.Rumusan Masalah

1. Apakah eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai substrat pada sistem *microbial fuel cell* dengan menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*?
2. Bagaimana optimasi sistem *microbial fuel cell* dengan menggunakan substrat eceng gondok dan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*?

1.3.Pembatasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan untuk memfokuskan arah penelitian ini, yaitu:

1. Reaktor yang digunakan yaitu reaktor *dual-chamber*. Dengan konfigurasi: chamber anoda/katoda memiliki volume 700 ml³ dan berbahan PP; jembatan garam terbuat dari NaCl pada pipa dengan panjang 10 cm dan diameter pipa 1,27 cm dan berebahan PVC.
2. Elektroda yang digunakan yaitu grafit dari karbon batu batrai berukuran AA
3. Kultur mikroorganisme yang digunakan dalam sistem MFC yakni *Saccharomyces cerevisiae* dengan konsentrasi 2,6 mg/ml
4. Eceng gondok yang digunakan berasal dari Waduk Selorejo, Kec. Ngantang, Kab. Malang, Jawa Timur.
5. Pengukuran arus dan tegangan listrik menggunakan instrumen digital multimeter

6. Parameter eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai substrat dilihat dari Energi listrik (Arus, Tegangan dan Daya) yang dihasilkan.

1.4. Tujuan Penelitian

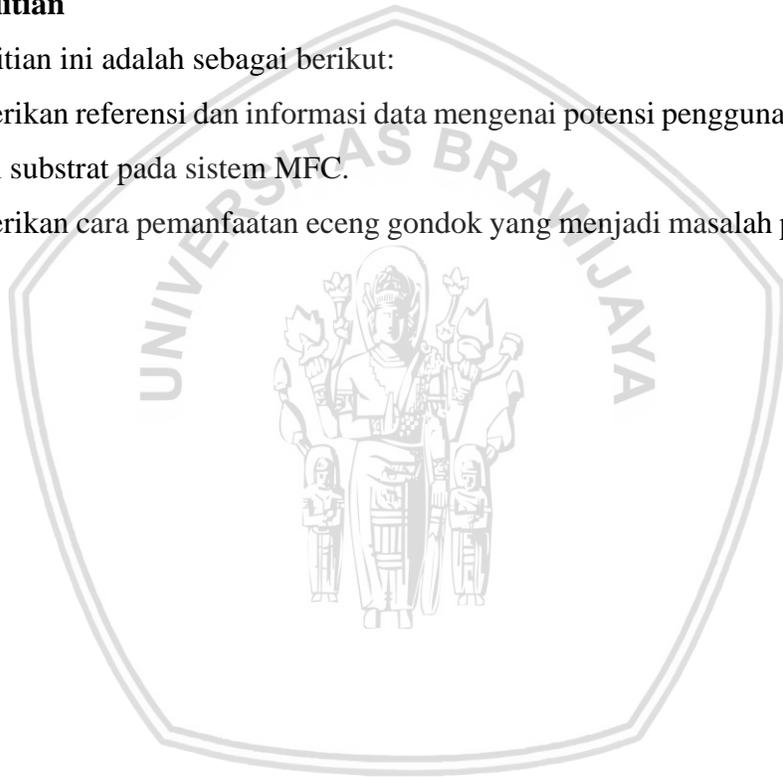
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui potensi eceng gondok sebagai substrat pada sistem MFC dengan menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*.
2. Mengetahui optimasi eceng gondok sebagai substrat pada sistem MFC dengan menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan referensi dan informasi data mengenai potensi penggunaan eceng gondok sebagai substrat pada sistem MFC.
2. Memberikan cara pemanfaatan eceng gondok yang menjadi masalah pada lingkungan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Microbial Fuel Cell*

Microbial Fuel Cell atau yang dapat disingkat menjadi MFC merupakan alat bioelektrokimia dimana limbah organik didegradasi menjadi molekul yang lebih kecil, mengeluarkan elektron dan proton yang nantinya akan menghasilkan tenaga listrik. MFC dapat mengubah langsung energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi bioelektrokimia dengan memanfaatkan mikroorganisme atau katalis enzim. MFC memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan *fuel cell* seperti dapat menggunakan sumber terbarukan yang murah seperti limbah cair dan biomassa untuk mengubahnya menjadi listrik, tidak seperti *fuel cell* yang menggunakan hidrogen yang mahal untuk menghasilkan listrik. Pada *fuel cell* juga menggunakan katalis bahan kimia yang mahal seperti platinum, berbeda dengan MFC yang menggunakan mikroorganisme untuk agen pengoksidasi di anoda dan ini berdampak ke biaya operasi. Selain itu MFC juga dapat dilakukan pada suhu lingkungan dan tekanan atmosferik, tidak seperti *fuel cell* (Das, 2018).

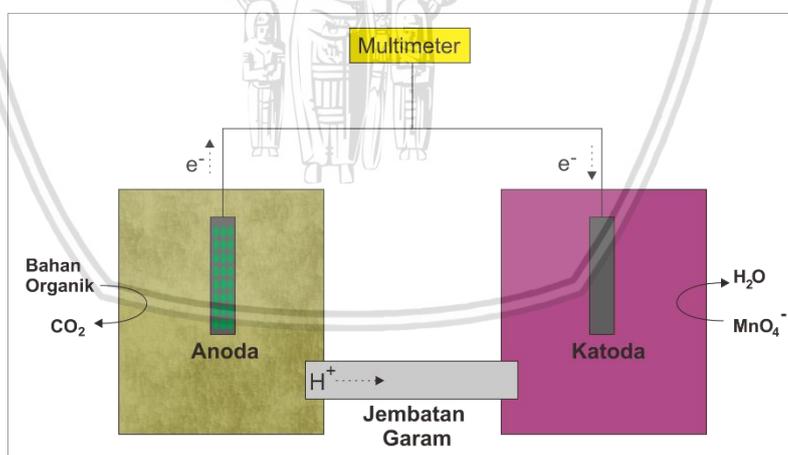
Secara fisik, MFC merupakan rangkaian dari *chamber* anoda yang bersifat anaerobik, *chamber* katoda yang bersifat aerobik dan separator berupa membran. Mikroorganisme yang berada pada *chamber* anoda akan dimanfaatkan untuk mengoksidasi substrat dan menghasilkan elektron menuju *chamber* katoda melalui kabel eksternal. Sedangkan proton yang dihasilkan akan menuju katoda melalui membran dan akan tereduksi oleh elektron yang diterimanya di katoda. *Chamber* anoda terdiri dari mikroorganisme dan elektroda dan juga diumpankan media pertumbuhan atau limbah cair. Proton dan elektron yang dihasilkan dari metabolisme mikroorganisme akan bereaksi dengan oksigen dan akan membentuk air di *chamber* katoda (Das, 2018).

Kinerja dan efisiensi dari MFC ditentukan dari beberapa hal yakni aktivitas mikroorganisme saat mengoksidasi substrat pada anoda, transfer elektron dari sel mikroorganisme menuju anoda, transfer proton dari anoda ke katoda melewati selektif membrane, resisten pada sirkuit, dan katoda reaksi pada katoda (Pham dkk, 2004) selain itu juga dipengaruhi oleh kondisi operasinya terutama pada *chamber* anoda. Karena pada anoda melibatkan mikroorganisme, maka kondisi operasi yang diatur harus sesuai dengan kondisi optimum dari mikroorganisme yang digunakan. Sehingga

yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi MFC yaitu dari jenis substrat, jenis mikroorganisme, kondisi lingkungan berupa pH, temperatur dan COD (Das, 2018). Pada dasarnya, berbagai bentuk bahan organik dapat digunakan sebagai substrat dalam MFC, seperti glukosa, pati, asam lemak, asam amino dan protein, dan air limbah dari manusia dan hewan (Liu dkk, 2004).

2.1.1. Prinsip Kerja MFC

Prinsip kerja MFC adalah dengan mengoksidasi bahan organik secara *anaerob* melalui bantuan mikroorganisme (Kordesch dan Simader, 2001). Mikroorganisme akan mengoksidasi bahan organik dan menghasilkan elektron, proton, *biofilm* dan metabolit lain sebagai produk akhir reaksi. Elektron yang dilepaskan oleh mikroorganisme akan ditangkap oleh elektroda pada anoda dan akan disalurkan ke elektroda pada katoda melalui kabel. Di sisi lain, perpindahan proton melalui *ion exchange membrane* (IEM) menuju katoda akan direduksi oleh elektron yang berpindah agar satu rangkaian listrik dapat terjadi secara lengkap (Das, 2018). Elektron ini dapat dimanfaatkan langsung pada sistem MFC untuk menghasilkan energi listrik. Cara ini lebih mudah daripada mengolah senyawa yang mengandung hidrogen menjadi hidrogen murni lebih dahulu.



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Sistem MFC

Pada prinsipnya, membran memiliki sifat *permeable* untuk proton sehingga proton yang dihasilkan di anoda bisa berpindah ke katoda dimana proton dapat bereaksi ulang dengan elektron yang berpindah melalui kabel dan oksigen hingga terbentuknya air. Arus yang dihasilkan MFC akan di hitung dengan memantau naik turunnya tegangan dengan resistor yang terpasang pada alat uji baik berupa voltmeter ataupun multimeter (Logan, 2008).

Indikasi adanya listrik pada MFC ditunjukkan oleh munculnya arus, tegangan dan daya listrik yang dihasilkan pada MFC. Daya listrik ini didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam suatu rangkaian listrik dengan satuan SI yaitu watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik). Daya listrik yang dihasilkan pada MFC berkaitan erat dengan arus dan tegangan yang dihasilkan pula. Pada rangkaian arus DC, daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan hukum joule dengan rumus berikut:

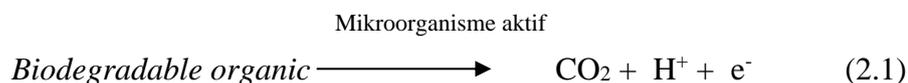
$$P = I \times V \quad (2-1)$$

Dimana P adalah daya listrik dalam watt ,I adalah arus listrik dalam satuan Amphere, dan V merupakan tegangan listrik dengan satuan Volt (Croft, 1987).

2.1.2. Komponen MFC

A. Kompartemen Anoda

Kompartemen anoda merupakan salah satu komponen utama pada MFC. Segala kondisi diupayakan untuk sesuai dengan kondisi optimum degradasi bahan organik di kompartemen anoda. Kompartemen anoda berisikan mikroorganisme, elektroda dan bahan organik. Reaksi umum yang terjadi pada kompartemen anoda dapat dilihat pada persamaan (2.1) (Rahimnejad dkk, 2015). Bahan organik yang sering digunakan adalah glukosa. Glukosa akan terurai secara enzimatik untuk menghasilkan dua molekul piruvat yang memiliki tiga atom karbon. Proses ini dikenal sebagai glikolisis. Selama reaksi-reaksi glikolisis yang berurutan, banyak energi bebas yang diberikan oleh glukosa yang disimpan dalam bentuk ATP (Zahara, 2011). Reaksi yang terjadi saat glukosa digunakan pada sistem MFC dapat dilihat pada persamaan (2.2) (Pham, 2006).



Potensial standar sel dari reaksi pada persamaan (2.2) yaitu sama seperti potensial standar sel reaksi reduksi NAD⁺ menjadi NADH yakni -0,32 V. Kompartemen anoda ini harus dijaga dalam kondisi *anaerob*. Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa tidak ada oksigen pada *chamber* anoda.

Hal ini dikarenakan bahwa ketika terdapat oksigen akan menghalangi terbentuknya energi listrik sehingga *chamber* anoda harus dalam kondisi *anaerob*. Menciptakan kondisi *anaerob* pada anoda bisa dicapai dengan cara memisahkan kedua *chamber* anoda untuk tempat aktivitas mikroorganisme, katoda untuk tempat bereaksinya elektron dan elektrolit. Pemisahan bisa menggunakan membran yang memperbolehkan terjadinya transfer muatan (Logan, 2008).

B. Kompartemen Katoda

Kinerja dan efisiensi dari MFC ditentukan dari beberapa hal yaitu aktivitas mikroorganisme saat mengoksidasi substrat pada anoda, transfer elektron dari sel mikroorganisme menuju anoda, transfer proton dari anoda ke katoda melewati selektif membrane, resistor pada sirkuit, dan reaksi yang terjadi pada katoda (Pham dkk, 2004). Sejauh ini, yang berperan sebagai penerima/akseptor elektron yaitu oksigen karena tersedia dilingkungan dan tingginya nilai redoks yang dimiliki (Cheng dkk, 2006). Namun terdapat kerugian dimana terdapat kontak yang minim antara oksigen dalam bentuk gas dengan elektroda katoda yang berbentuk padatan (Li dkk, 2009). Oleh karena itu dibutuhkannya alternatif akseptor elektron berupa larutan elektrolit.

Pada kompartemen katoda, terdapat larutan elektrolit yang bersifat konduktif. Kalium Ferrisianida ($K_3Fe(CN)_6$) dikenal sangat baik sebagai akseptor elektron dalam sistem MFC. $K_3Fe(CN)_6$ merupakan spesies elektroaktif yang mampu menangkap elektron dengan baik dengan harga potensial reduksi standar sebesar +0.36 V. Keuntungan terbesar dalam penggunaan kalium ferrisianida adalah dihasilkannya overpotensial yang rendah bila menggunakan elektroda karbon. Akan tetapi, kerugian terbesar adalah terjadinya proses reoksidasi yang tidak sempurna oleh karena itu larutan harus diganti secara teratur. Kinerja jangka panjang ferrisianida dalam sistem MFC sangat dipengaruhi oleh efisiensi difusinya melewati PEM menuju ruang katoda (Logan, 2006).

Selain ferrisianida, permanganat juga diketahui dapat dimanfaatkan sebagai elektrolit. Permanganat diketahui memiliki potensial redoks yang tinggi sehingga memungkinkan dihasilkannya perbedaan nilai potensial

yang tinggi di antara anoda dan katoda. Nilai potensial di anoda umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain laju konversi substrat dan laju transfer elektron dari bakteri ke permukaan elektroda di anoda. Sedangkan nilai potensial di katoda hanya ditentukan oleh jenis akseptor elektron yang digunakan. Dengan mengasumsikan potensial redoks NAD^+/NADH di anoda bernilai konstan (-0,32 V), nilai tegangan akan bergantung sepenuhnya kepada kinerja katoda. Karena permanganat memiliki potensial redoks yang tinggi, perbedaan potensial di anoda dan katoda akan semakin besar sehingga energi listrik yang dihasilkan akan meningkat (You dkk, 2006). Persamaan 2.3 menggambarkan reaksi reduksi yang terjadi pada permanganat. Proton dan elektron yang berasal dari anoda digunakan untuk mereduksi Mn^{7+} menjadi Mn^{4+} dan air. (Guerrero-Rangel dkk, 2010)



Sehingga reaksi yang berlangsung pada sistem *microbial fuel cell* ini terjadi secara spontan karena nilai potensial reduksinya bernilai positif yaitu 1,38 V.

C. Elektroda

Elektroda harus bersifat konduktif, biocompatible (sesuai dengan makhluk hidup), dan secara kimia stabil di dalam lartan bioreaktor. Logam dapat berupa stainless steel nonkorosif, tetapi tembaga tidak dapat digunakan akibat adanya toksisitas ion tembaga pada bakteri. Material elektroda yang paling bermanfaat adalah karbon, dalam bentuk lempeng grafit (padat, batang atau granula), dalam bentuk material berserat, dan dalam bentuk glass carbon (Logan, 2006).

Dari ketiga bentuk karbon, lempengan atau batang grafit banyak dipakai karena relatif murah, sederhana dan memiliki luas permukaan tertentu. Area permukaan yang lebih luas diberikan oleh olektroda lelehan grafit ($0,47 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, seri GF, GEE Grapihte Limited, Dewsbury, UK). Tetapi tidak semua area permukaan yang terdindikasi dapat digunakan oleh bakteri (Logan, 2006).

Karbon aktif adalah karbon dengan stuktur amorph yang telah melalui perlakuan khusus sehingga memiliki luas permukaan yang sangat besar ($300-2000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$). Karakteristik karbon yang ideal adalah pada rentang pH antara 5-6 ($50 \text{ g/L H}_2\text{O}$, 20°C), titik leleh 3800°C , dan ukuran partikel $< 50 \mu\text{m}$. Resin perekat berguna untuk merekatkan karbon aktif sehingga memiliki stuktur yang kuat dan tidak rapuh selama MFC dioperasikan. Resin perekat ini digunakan karena memiliki konduktivitas yang rendah yaitu $10^{-10}/\Omega\text{m} - 10^{-15}/\Omega\text{m}$. (Logan, 2006).



Gambar 2.2 Elektroda Batang Grafit

Sumber: Sidharta, 2007

D. Separator

Separator memiliki peran penting pada sistem MFC. Secara fisik, separator memisahkan kompartemen anoda dan katoda tapi masih terhubung baik dari segi ion dan elektrik. Elektron yang dihasilkan melalui aktivitas mikroorganisme akan berpindah menuju katoda melalui kabel. Sedangkan proton yang dihasilkan akan berpindah melalui separator (Das, 2018). Separator bisa berupa membran *semi-permeable* atau jembatan garam.

Jembatan garam merupakan alat penghubung antara reaksi reduksi dan oksidasi setengah sel dari sel volta. Jembatan garam dibutuhkan pada sel volta untuk menjalankan reaksi yang ada. Jembatan garam ini dapat berupa sebuah tabung-U terbalik yang mengandung larutan dari suatu garam (Day, 1998). Pada prinsipnya, ion pada elektrolit jembatan garam akan berpindah masuk ataupun keluar dari jembatan garam. Pada kondisi reversible, terbatas perpindahan yang terjadi. Sehingga dapat dikatakan

jembatan garam merupakan alat untuk meminimalisir *liquid junction potential* dimana dua larutan elektrolit dengan konsentrasi yang berbeda melakukan kontak dengan kecenderungan larutan yang berkonsentrasi tinggi akan berdifusi ke larutan dengan konsentrasi rendah (Wright, 2007). Mekanisme kerja dari jembatan garam untuk mengurangi *liquid junction potential* yaitu pergerakan ion dalam jembatan garam berlangsung dengan lambat dikarenakan elektrolit didalamnya dalam bentuk gel. Lalu proses difusi ion hanya melibatkan 2 ujung dari jembatan garam dan konsentrasi elektrolit dalam jembatan garam harusnya sangat berlebih konsentrasinya daripada elektrolit yang ada pada setengah sel (Monk, 2004).

2.2. Energi Listrik

Energi listrik dapat dilihat dari berbagai aspek antara lain yaitu muatan, arus, tegangan dan daya yang dihasilkan. Dalam ilmu fisika kita mengetahui adanya dua jenis muatan, yaitu muatan positif (berkorespondensi dengan proton) dan muatan negatif (berkorespondensi dengan elektron). Terdapat banyak peralatan (seperti misalnya baterai, dioda dan transistor) dimana pergerakan muatan positif penting untuk memahami operasi internalnya. Akan tetapi di luar dari alatnya, kita akan memfokuskan perhatian pada elektron-elektron yang mengalir pada kawat-kawat penghubungnya. Walaupun kita secara kontinu mentransfer muatan di antara berbagai bagian rangkaian, kita tidak melakukan perubahan apapun terhadap jumlah muatan total. Dengan kata lain, kita tidak menciptakan atau memusnahkan elektron (atau proton) saat menjalankan suatu rangkaian listrik. Muatan yang bergerak merepresentasikan arus. Dalam sistem SI, satuan dasar muatan adalah coulomb (C). Muatan ini didefinisikan dalam ampere dengan menghitung total muatan yang mengalir melewati penampang melintang sebuah kawat dalam interval waktu satu detik; satu coulomb terukur setiap detik untuk sebuah kawat penghantar yang mengalirkan arus sebesar 1 ampere. Dalam sistem satuan ini, sebuah elektron memiliki muatan sebesar $-1,602 \times 10^{-19}$ C sementara sebuah proton memiliki muatan sebesar $+1,602 \times 10^{-19}$ C (William, 2002).

Arus merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yang mengalir dalam satuan waktu dengan simbol i (dari kata Perancis : intensite). Arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron dimana setiap elektron mempunyai muatan yang besarnya sama. Jika kita mempunyai benda bermuatan negatif berarti benda tersebut mempunyai kelebihan elektron. Derajat termuatinya benda tersebut diukur dengan jumlah kelebihan elektron yang ada. Dengan kata lain arus adalah muatan yang

bergerak. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus pun akan hilang. Muatan akan bergerak jika ada energi luar yang mempengaruhinya. Muatan adalah satuan terkecil dari atom atau sub bagian dari atom. Dimana dalam teori atom modern menyatakan atom terdiri dari partikel inti (proton bermuatan + dan neutron bersifat netral) yang dikelilingi oleh muatan elektron (-), normalnya atom bermuatan netral. Muatan terdiri dari dua jenis yaitu muatan positif dan muatan negative. Muatan sebuah electron (muatan negative), sering dinyatakan dengan simbol q atau e , dinyatakan dengan satuan coulomb. Coulomb adalah unit dasar dari satuan International yang digunakan untuk mengukur muatan listrik yaitu sebesar $Q = 1,6 \times 10^{-19}$ coulomb. Arah arus searah dengan arah muatan positif (arah arus listrik) atau berlawanan dengan arah aliran elektron. Suatu partikel dapat menjadi muatan positif apabila kehilangan elektron dan menjadi muatan negatif apabila menerima elektron dari partikel lain. Secara matematis sesuai dengan persamaan (2.4) dimana arus dapat didefinisikan sebagai:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2.4)$$

Satuan arus adalah ampere (A), yang diambil dari nama fisikawan Perancis, A. M. Ampère. Dalam teori rangkaian, arus merupakan pergerakan muatan positif. Ketika terjadi beda potensial disuatu elemen atau komponen maka akan muncul arus dimana arah arus positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah dan arah arus negatif mengalir sebaliknya (William, 2002).

Tegangan atau seringkali orang menyebut dengan beda potensial dalam Bahasa Inggris voltage adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu coulomb) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial jika kita menggerakkan/memindahkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Tegangan merupakan ukuran untuk kerja yang diperlukan untuk memindahkan muatan melalui elemen. Keterkaitan antara kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan. Satuan tegangan adalah volt, dan 1 volt adalah sama dengan 1 J/C. Tegangan disimbolkan dengan V atau v . Secara matematis tegangan dapat didefinisikan seperti persamaan (2.5) berikut :

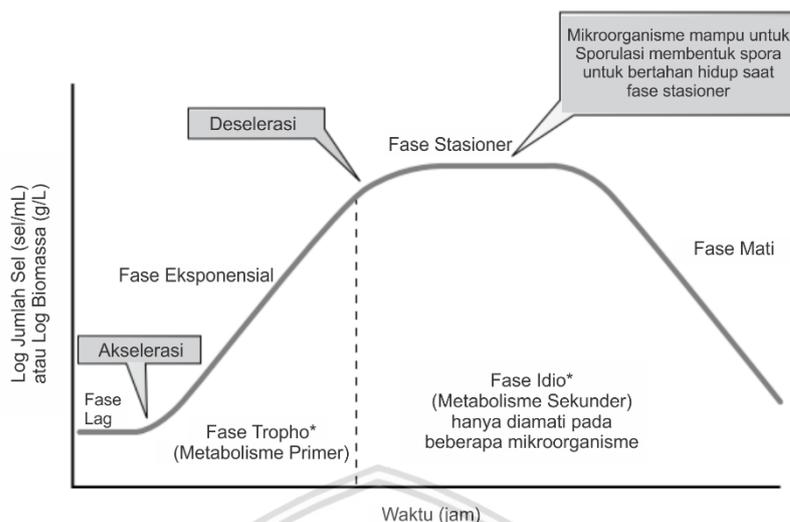
$$v = \frac{dw}{dq} \quad (2.5)$$

Tegangan telah didefinisikan dalam bentuk energi yang dikeluarkan, dan daya adalah laju di mana energi tersebut dilepaskan. Misalkan suatu potensial v dikenakan ke suatu beban dan mengalirlah arus i . Energi yang diberikan ke masing-masing elektron yang menghasilkan arus listrik sebanding dengan v (beda potensial). Energi yang diberikan pada elektron tiap satuan waktu didefinisikan sebagai daya (power), sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa daya listrik adalah perkalian antara tegangan dan arus. Daya listrik direpresentasikan dengan P atau p . Jika satu joule energi dikeluarkan dalam upaya mentransfer satu coulomb muatan melalui sebuah alat listrik dalam waktu satu detik maka laju transfer energinya adalah satu watt. Secara matematis daya didefinisikan sebagai (William, 2002):

$$p = v \frac{dq}{dt} = vi \quad (2.6)$$

2.3. *Saccharomyces cerevisiae*

Mikroorganisme yang digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae* yang bersifat nonpatogenik. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan organisme uniseluler dan umumnya membelah diri dengan pertunasan. Pada umumnya, sel yeast lebih besar daripada bakteri dengan ukuran sangat beragam yaitu lebar antara 1-5 μm dan panjangnya lebih dari 3 – 30 μm . Yeast biasanya berbentuk bulat telur atau memanjang dan tidak dilengkapi dengan flagelum atau organ penggerak lainnya. Yeast bersifat fakultatif anaerob, artinya dapat hidup dalam keadaan *anaerob* ataupun *aerob*. Yeast dapat tumbuh dalam kisaran suhu yang cukup luas. Suhu optimum pertumbuhannya 30°C dengan kondisi pH 4,5 – 5,5. Suhu maksimumnya adalah 35 – 37°C, sedangkan suhu minimumnya 9 – 11°C (Dickinson dkk, 2004)



Gambar 2.3 - Pertumbuhan mikroorganisme pada media batch

Sumber : Waites, 2001

Yeast sering digunakan dalam proses pembuatan roti, anggur, dan bir dalam rumah tangga maupun skala industri. Klasifikasinya dapat dilihat sebagai berikut:

- Kingdom : Fungi
- Filum : Ascomycota
- Kelas : Saccharomycetes
- Ordo : Saccharomycetales
- Famili : Saccharomycetaceae
- Genus : Saccharomyces
- Species : *Cerevisiae*

Yeast dapat tumbuh dalam suatu media/substrat yang mengandung glukosa. Pertumbuhan maksimum yeast biasanya terjadi hingga hari ke-3 dan mulai mengalami penurunan setelah hari ke-7. Untuk pertumbuhannya, semua mikroorganisme membutuhkan berbagai unsur kimia sebagai nutrient, baik dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik. Unsur-unsur untuk pertumbuhan sel mikroorganisme meliputi unsur C,H,O dan N. Kandungan suatu medium harus memenuhi kebutuhan dasar untuk biomassa dari produksi metabolit serta harus cukup memberikan energi untuk biosintesis dan pemeliharaan sel. *Saccharomyces cerevisiae* dapat hidup baik pada media yang kaya akan glukosa dan juga protein (Dickinson & Schweizer, 2004).

Fase pertumbuhan mikroorganisme dapat diklasifikasikan berdasarkan pertumbuhan dan metabolit yang dihasilkannya yaitu, fase *trophophase* dan *idiophase*. *Trophophase* merupakan fase mikroorganisme tumbuh secara aktif yang memproduksi

metabolit primer seperti asam amino, asam organik, vitamin dan pelarut seperti alkohol dan aseton. Sedangkan *idiophase* merupakan fase mikroorganisme diam (stasioner) yang memproduksi metabolit sekunder yang tidak diperlukan untuk pertumbuhan mikroorganisme, misalnya alkaloid dan antibiotik (Waites, 2001).

Selama fermentasi *batch*, populasi dari mikroorganisme melalui fase pertumbuhan antara lain fase lag, akselerasi, eksponensial, stasioner dan fase kematian (*death phase*) (gambar 2.3). Pada fase lag secara visual tidak terjadi pertumbuhan dan populasi mikroorganisme konstan. Namun pada periode ini terjadi aktivitas metabolik untuk beradaptasi pada lingkungan baru. Saat sel diinokulasikan pada media baru sel akan kekurangan enzim, vitamin atau kofaktor, sehingga mikroorganisme harus mensintesis terlebih dahulu memanfaatkan nutrisi yang tersedia. Komposisi kimia dari media dapat mempengaruhi lama dari fase lag. Fase lag yang lama biasanya dikarenakan perbedaan sumber karbon pada medium yang baru sehingga sel perlu mensintesis enzim untuk mengkatabolisme substrat baru (Waites, 2001).

Sel memasuki fase akselerasi beradaptasi pada lingkungan yang baru. Frekuensi pembelahan sel terus meningkat hingga laju pertumbuhan maksimum. Pada kondisi ini pertumbuhan secara eksponensial dimulai dan jumlah sel/biomassa bertambah pada laju yang konstan. Laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme terus melambat sampai semua substrat yang tersedia habis untuk metabolime sel. Pertumbuhan tidak lagi berkelanjutan dan sel memasuki fase stasioner. Pada keadaan ini laju pertumbuhan menurun hingga nol dan tidak terjadi perubahan yang signifikan pada jumlah sel/biomassa. Namun, mikroorganisme tetap melakukan aktivitas metabolik dan dalam beberapa kasus memproduksi metabolit sekunder. Durasi dari fase stasioner bervariasi berdasarkan mikroorganisme yang digunakan dan kondisi lingkungan. Untuk sel yang tidak dapat bertahan dengan membentuk spora, akan terjadi fase kematian eksponensial saat sel mati dalam laju yang konstan. (Waites, 2001).

Pertumbuhan mikroorganisme dapat diukur dari perubahan jumlah sel atau berat kering sel. Jumlah sel dapat dapat dihitung dari jumlah sel total yang tidak membedakan jumlah sel hidup atau mati, dan jumlah sel hidup (*viable count*). Jumlah sel hidup dapat ditetapkan dengan metode plate count dengan cara ditaburkan pada medium agar sehingga satu sel hidup akan tumbuh membentuk satu koloni, jadi jumlah koloni dianggap setara dengan jumlah sel. Cara ini ada dua macam, yaitu metode *spread plate method* dan *pour plate method*. Cara lain untuk menghitung jumlah sel hidup yaitu dengan filter membran dan MPN (*most probable number*) yang

menggunakan medium cair. Sedangkan pertumbuhan sel dapat diukur dari massa sel dan secara tidak langsung dengan mengukur turbiditas cairan medium tumbuh. Massa sel dapat dipisahkan dari cairan mediumnya menggunakan alat *centifuge* sehingga dapat diukur volume massa selnya atau diukur berat keringnya (dikeringkan dahulu dengan pemanasan 90-110 °C semalam). Umumnya berat kering bakteri adalah 10-20% dari berat basahnya.

2.4. Eceng Gondok

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah tanaman yang hidup mengapung di air dan kadang-kadang berakar dalam tanah. Tingginya sekitar 0,4 - 0,8 meter. Eceng gondok tidak mempunyai batang. Daunnya tunggal dan berbentuk oval. Ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung. Akarnya merupakan akar serabut. Pertumbuhan eceng gondok dapat mencapai 1,9% per hari dengan tinggi antara 0,3-0,5 m (Sabour, 2010).

Adapun klasifikasi dari eceng gondok yaitu:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Alismatales
Famili	: Butomaceae
Genus	: Eichornia
Spesies	: Eichornia crassipes

Eceng gondok yang sudah menutupi sebagian besar wilayah perairan. Perkembangbiakan yang demikian cepat menyebabkan tanaman eceng gondok telah berubah menjadi tanaman gulma di beberapa wilayah perairan di Indonesia. Di kawasan perairan danau, eceng gondok tumbuh pada bibir-bibir pantai sampai sejauh 5-20 m. Hal ini menyebabkan berkurangnya volume air dan pendangkalan sungai, dikarenakan sifat tanaman ini yang menyerap air sangat banyak. Perkembangbiakan ini juga dipicu oleh peningkatan kesuburan di wilayah perairan danau, sebagai akibat dari erosi dan sedimentasi lahan, berbagai aktivitas masyarakat (mandi, cuci, kakus/MCK) dan lainnya. Usaha untuk memberantas tanaman gulma air ini dinilai tidak efektif karena tingkat pertumbuhannya lebih cepat dari pembuangannya. Sehingga dibutuhkan pengolahan lebih lanjut agar dapat dimanfaatkan secara optimal.

Komposisi kimia eceng gondok tergantung pada kandungan unsur hara tempatnya tumbuh, dan sifat daya serap tanaman tersebut. Eceng gondok mempunyai sifat – sifat yang baik antara lain dapat menyerap logam – logam berat, senyawa sulfida. Kandungan eceng gondok sendiri yaitu 60% selulosa, 8% hemiselulosa dan 17% lignin (Ahmed, 2012).

Eceng gondok juga termasuk biomas lignoselulosa dimana memiliki kandungan utamanya berupa lignin, hemiselulosa dan selulosa dan merupakan sumber daya alam terbarukan yang melimpah. Mayoritas fraksi limbah padat merupakan substrat lignoselulosa memiliki potensi untuk dijadikan biofuel. Akan tetapi perlu dilakukannya proses degradasi selulosa terlebih dahulu untuk pemanfaatan lebih lanjut. Kemampuan degradasi selulosa secara alami dari biomassa lignoselulosa bergantung dari bentuk amorf atau kristalin dan kandungan lignin. Untuk meningkatkan hasil degradasi tersebut, dilakukan upaya perlakuan awal baik dengan metode fisika, kimia maupun biologis (Mudhoo, 2012). Karena terdapat kandungan lignin yang memiliki sifat menghambat proses degradasi selulosa, sehingga dibutuhkan perlakuan awal untuk mengurangi kandungan lignin tersebut, sehingga selulosa dapat didegradasi lebih efektif. Secara umum terdapat beberapa tahapan dalam proses biokimia pada biomassa lignoselulosa yaitu (Iroba, 2018):

1. *Size reduction* dengan cara digiling/dipotong untuk menambah luas permukaan saat reaksi.
2. Perlakuan awal menggunakan berbagai metode untuk memecah kandungan lignin untuk meningkatkan proses degradasi selulosa.
3. Hidrolisis untuk mengubah karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana
4. Fermentasi gula sederhana untuk menghasilkan produk yang diinginkan.

Metode fisika bisa dilakukan dengan pengurangan ukuran atau *size reduction* dimana bisa merusak dinding sel sehingga membuat komponen *biodegradable* mudah diakses oleh mikroorganisme. Selain dengan *size reduction*, metode fisika juga dapat dilakukan dengan cara menggunakan suhu tinggi. Dengan meningkatnya suhu, dapat meningkatkan efisiensi solubilisasi substrat sehingga meningkatkan degradasi substrat (Mudhoo, 2012). Suhu yang digunakan ketika menggunakan bantuan bahan alkali (NaOH) sekitar 121°C dengan kandungan NaOH 0,75% (w/v) selama 15 menit (Wang, 2009).

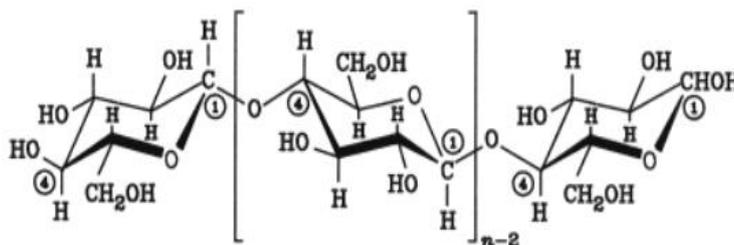
Metode kimiawi memiliki tujuan yang sama dengan metode fisika yakni untuk meningkatkan efisiensi degradasi substrat. Metode kimiawi dapat dicapai dengan

berbagai cara antara lain dengan menggunakan *alkali hydrolysis*, *organosolv process*, *wet oxidation*, *ozonolysis*, dan *acid hydrolysis*. *Alkali hydrolysis* dapat menggunakan berbagai basa seperti NaOH, KOH, Mg(OH)₂, dan Ca(OH)₂. Lingkungan alkali dapat memberikan pengaruh ke partikel organik dan membuat rentan diserang secara enzimatik dengan meningkatkan *biodegradability* pada substrat. Prosedur perlakuan awal alkali terhadap substrat didisgesi anaerobik yaitu penambahan NaOH pada substrat. Lalu, sampel difiltrasi menggunakan saringan *nylon* dengan ukuran pori 20 mikron atau dengan sentrifugal untuk mendapatkan fraksi cair dan padat (Mudhoo, 2012). Penggunaan sodium hidroksida karena dapat meningkatkan luas permukaan internal, mengurangi derajat polimerisasi serta kristalinitas selulosa dan memisahkan ikatan lignin dan karbohidrat sehingga *digestibility* pada lignoselulosa meningkat secara efektif (Iroba, 2018). Penggunaan NaOH dengan 0,75% (w/v) pada suhu 121°C selama 15 menit dapat mendegradasi gula hingga 86% secara teoritis (Wang, 2009).

Komponen lignoselulosa dalam tanaman lignoselulosa memiliki struktur internal yang kompleks. Struktur ini memiliki karakteristik fisik masing-masing dan mempengaruhi keseluruhan dari struktur kompleks itu. Berikut penjelasan dari setiap struktur tersebut (Harmsen, dkk. 2010):

a. Selulosa

Selulosa merupakan bahan organik yang melimpah di Bumi dan juga merupakan bahan penyusun utama dari kapas dan kayu. Selulosa adalah polymer berantai panjang dari β -D-glucose dalam bentuk *pyranose* yang terikat dengan *1,4-glycosidic* membentuk satuan *cellobiose* yang berulang sehingga membentuk rantai selulosa. Selulosa murni diproduksi di industri dalam bentuk serbuk mikrokristal selulosa dari *bleaching* kayu dari proses hidrolisis asam. Selulosa umumnya dianggap sebagai polimer glukosa karena terdiri dari 2 molekul dari glukosa. Rumus kimia dari selulosa yaitu (C₆H₁₀O₅)_n, struktur dari rantai polimer ini j dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 - Struktur kimia selulosa

Sumber : Harmsen dkk., 2010

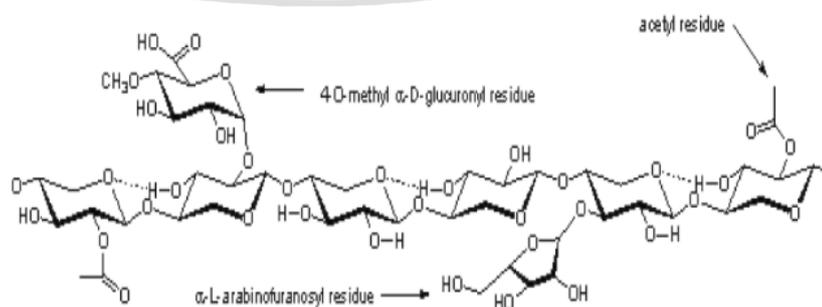
Secara alami, ikatan antar molekul glukosa (β -1,4- glukosidat) menyebabkan polimer tersusun menjadi rantai lurus panjang. Susunan terakhir dari molekul ini memiliki hidroksida di kedua sisi monomer yang memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen antar molekul selulosa.

Selulosa pada suhu rendah larut dalam larutan asam encer. Kelarutan polimer sangat terkait dengan tingkat hidrolisis yang dicapai, tetapi hidrolisis akan menyebabkan perubahan struktur selulosa. Pada suhu tinggi, selulosa akan larut karena tersedia energi yang cukup untuk memutuskan ikatan hidrogen yang terdapat pada struktur selulosa. Selulosa juga larut dalam asam pekat, namun mengakibatkan degradasi polimer yang sangat besar. Dalam larutan alkali, selulosa mengalami *swelling* pada daerah yang luas serta larutnya fraksi polimer dengan berat molekul rendah ($DP < 200$). Selulosa tidak meleleh terhadap kenaikan suhu, tetapi mulai terdekomposisi pada 180°C .

b. Hemiselulosa

Hemiselulosa tersusun atas polisakarida *arabino-xylans*, *gluco-mannans*, galaktan dan lain-lain yang ditemukan pada dinding sel tanaman. Hemiselulosa memiliki komposisi dan struktur berbeda tergantung pada sumber dan metode ekstraksi. Jenis yang paling umum dari kelompok polimer polisakarida hemiselulosa adalah xilan. Gambar 2.5 menunjukkan struktur hemiselulosa.

Aspek penting dari struktur dan komposisi hemiselulosa adalah kurangnya struktur kristal, yang disebabkan struktur bercabang dan adanya kelompok asetil yang terhubung ke rantai polimer. Derajat polimerisasi hemiselulosa yaitu 150-200 unit monomer.

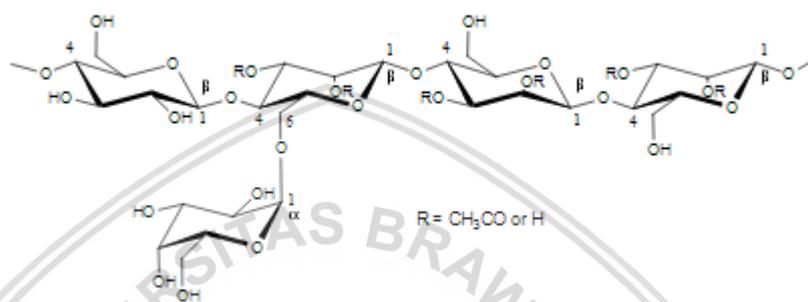


Gambar 2.5 - Struktur Kimia Hemiselulosa

Sumber : Harmsen dkk., 2010

c. Lignin

Lignin merupakan polimer yang terdiri atas unit-unit fenil propana yang rumit secara nonlinear dan terkait secara acak; tiga monomer utama adalah alcohol coumaryl, coniferyl alcohol, dan sinapyl alcohol. Lignin merupakan polimer termoplastik, dimana pada suhu tinggi sekitar 127-129°C lignin akan melunak yang memungkinkan reaksi depolimerisasi semakin cepat. Suhu yang diperlukan dalam pelunakan lignin bervariasi tergantung berapa nilai berat molekulnya (Harmsen dkk., 2010).



Gambar 2.6 - Struktur dasar Lignin

Sumber : Harmsen dkk., 2010

Lignin tidak larut dalam air yang memberikan sifat ketahanan dan pengembangan sel, karena mempengaruhi transportasi air, nutrisi dan metabolit dalam sel tanaman. Lignin bertindak sebagai pengikat antar sel membentuk komposit yang memiliki ketahanan yang luar biasa terhadap impact, kompresi dan pembengkokan. Berikut adalah gambar struktur dasar lignin pada gambar 2.6.

2.5. Penelitian Terdahulu

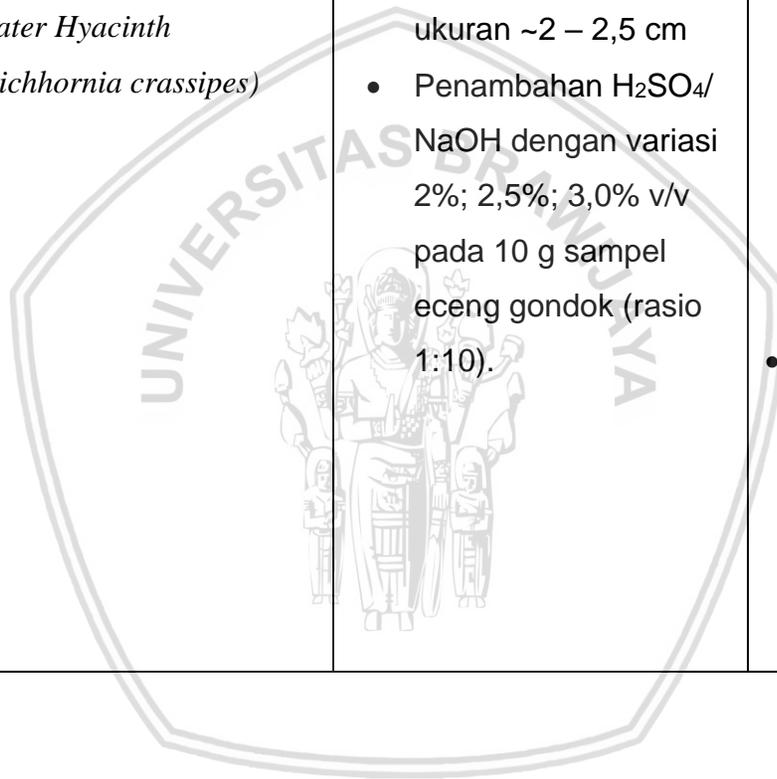
Guna mendukung penelitian ini, penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan relevan terhadap tema penelitian ini dapat digunakan sebagai data pendukung. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 - Penelitian Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Judul	Kondisi Operasi	Hasil
Deni Novitasari, 2011	Optimasi Kinerja <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) Untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<ul style="list-style-type: none"> MFC: <i>Dual Chamber</i>, PEM Nafion 117, menggunakan bakteri <i>Lactobacillus bulgaricus</i>. , Substrat dan buffer yang digunakan berupa glukosa dan buffer fosfat. Dilakukan variasi Waktu Operasi (3, 30, 100 jam), Volume Reaktor (100, 500 mL), Larutan Elektrolit ($K_3Fe(CN)_6$, $KMnO_4$) dengan pengujian arus dan tegangan. 	<ul style="list-style-type: none"> Pada waktu operasi 100 jam, energi listrik maksimum diperoleh setelah 38 – 40 jam pengamatan dengan hasil 0,302 mA dan 208 mV. Penambahan volume reaktor dari 100 ke 500 mL berhasil meningkatkan energi listrik maksimum sebesar 49% untuk kuat arus, 96,15% untuk tegangan dan 3x hasil <i>power density</i>. Penggunaan kalium permanganat sebagai larutan

			<p>elektrolit dapat meningkatkan energi listrik maksimum dibandingkan kalium ferisianida, dengan kenaikan arus sebesar 19% dan tegangan sebesar 12%.</p>
<p>Shijie You, Qingliang Zhao, dkk., 2006</p>	<p><i>A Microbial Fuel Cell Using Permanganate As The Cathodic Electron Acceptor</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem MFC: <i>Dual Chamber</i>, PEM (E-TEK) dengan menggunakan glukosa sebagai substrat, dan elektroda berupa karbon dengan volume reaktor 100 mL. • Percobaan ini membandingkan <i>permanganate</i>, <i>hexacynoferrate</i> dan <i>oxygen</i> sebagai akseptor elektron. Selain itu mencari pH dan konsentrasi optimal 	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin tinggi nilai pH di dalam bilik katoda, akan menurunkan kinerja <i>permanganate</i>. • Semakin tinggi konsentrasi <i>permanganate</i> yang digunakan akan berdampak baik terhadap potensial katoda yang dihasilkan • Diantara <i>permanganate</i>, <i>hexacynoferrate</i> dan <i>oxygen</i> yang berperan sebagai akseptor elektron. <i>Permanganate</i> lah yang memiliki nilai tertinggi.

		<p>ketika menggunakan <i>permanganate</i>.</p>	
<p>Atcharaporn Jongmeesuk, dkk., 2014</p>	<p><i>Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis from Water Hyacinth (Eichhornia crassipes)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eceng gondok segar dipotong hingga ukuran ~2 – 2,5 cm • Penambahan H₂SO₄/NaOH dengan variasi 2%; 2,5%; 3,0% v/v pada 10 g sampel eceng gondok (rasio 1:10). 	<ul style="list-style-type: none"> • Penambahan asam sulfat 0; 2,0; 2,5; 3,0 % (v/v) menghasilkan 0,86;15,63; 14,92;14,52 g/L secara berurutan. Terlihat bahwa dengan konsentrasi 2% (v/v) merupakan kondisi optimal. • Dengan penambahan asam sulfat 2% (v/v) pada eceng gondok merupakan <i>pretreatment</i> paling cocok digunakan pada eceng gondok.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Bioproses, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Penelitian bersifat eksperimental untuk mengetahui pemanfaatan serta optimasi dari eceng gondok sebagai substrat pada *microbial fuel cell* dengan menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan substrat eceng gondok tanpa *pretreatment*, eceng gondok dengan *pretreatment* hidrolisis, dan eceng gondok dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis yang nantinya akan diukur arus, tegangan dan daya listrik yang dihasilkan.

3.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel yang digunakan, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

3.2.1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dibuat bervariasi dengan besar nilai tertentu. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu jenis substrat yang digunakan yaitu eceng gondok tanpa *pretreatment*, eceng gondok dengan *pretreatment* hidrolisis, eceng gondok dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis.

3.2.2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang terjadi akibat adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu:

1. Kadar Glukosa (%)
2. Produksi Arus Listrik (A)
3. Produksi Tegangan Listrik (V)
4. Produksi Daya Listrik (Watt)

3.2.3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat dalam keadaan konstan. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu:

1. pH
2. Suhu
3. Waktu operasi selama 48 Jam

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang akan kami gunakan yaitu:

3.3.1. Membuat Kurva Standar Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*

1. Inokulasi 50 mL *Saccharomyces cerevisiae* selama 1 hari
2. Inokulasi 50 mL *Saccharomyces cerevisiae* selama 2 hari
3. Inokulasi 50 mL *Saccharomyces cerevisiae* selama 3 hari
4. Inokulasi 50 mL *Saccharomyces cerevisiae* selama 4 hari

3.3.2. Persiapan Substrat

1. Substrat Eceng Gondok Tanpa *Pretreatment*
2. Substrat Eceng Gondok Dengan *Pretreatment* Hidrolisis
3. Substrat Eceng Gondok Dengan *Pretreatment* Delignifikasi dan Hidrolisis

3.3.3. Pelaksanaan

Sistem MFC dirangkai dengan menghubungkan reactor *dual chamber* MFC dengan alat digital multimeter yang diilustrasikan pada gambar 3.1. Perlu diperhatikan bahwa *chamber* anoda dalam kondisi anaerobik sehingga *chamber* perlu ditutup rapat dan mempunyai warna dinding yang gelap. Setiap satu variable dilakukan selama 48 jam.

3.3.4. Pengukuran

Dalam pembuatan kurva standar pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* maka perlu dilakukan pendataan untuk berat mikroorganisme dalam rentang waktu yang ditentukan. untuk mengetahui siklus hidup dari mikroorganisme tersebut.

Saat dilakukannya *pretreatment*, perlu dilakukannya pengukuran untuk mengetahui pengaruh dilakukannya *pretreatment* tersebut. Pengukuran yang

repository.ub.ac.id

dilakukan berupa uji kadar glukosa pada substrat baik sebelum maupun sesudah *pretreatment* delignifikasi ataupun hidrolisis dengan menggunakan alat *refractometer*. Ketika sistem MFC sudah dijalankan, pengukuran yang dilakukan berupa mengukur arus dan tegangan listrik dengan menggunakan alat digital multimeter untuk tiap substratnya.

3.4 Bahan dan Alat

3.4.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan selama penelitian meliputi:

1. Eceng Gondok
2. KMnO_4
3. NaOH
4. H_2SO_4
5. Kultur bakteri *Saccharomyces cerevisiae*
6. Aquades
7. NaCl
8. Agar
9. PDB Instan
10. Buffer Fosfat
11. Kertas Saring

3.4.2. Alat

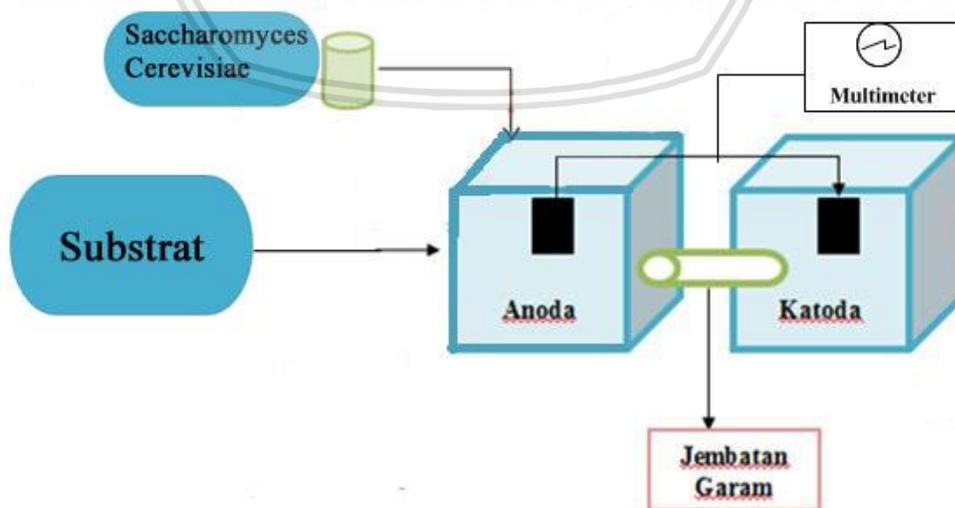
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Alat Gelas
 - 1) Reaktor Dual Chamber MFC
 - 2) Erlenmeyer
 - 3) Tabung Reaksi
 - 4) Pipet ukur
 - 5) Gelas ukur
 - 6) Kaca arloji
 - 7) Termometer
 - 8) Jarum Ose

- 9) Bunsen Burner
 - 10) Desikator
 - 11) Corong Buchner
 - 12) Labu Filtrasi
2. Alat Lainnya
- 1) Hotplate & stirer
 - 2) Autoklaf
 - 3) Shaker
 - 4) Neraca analitik
 - 5) Indikator pH
 - 6) Elektroda grafit atau karbon batu batrai berukuran AA
 - 7) Kabel penjepit buaya
 - 8) Blender
 - 9) Multimeter
 - 10) Jet Ejector
 - 11) *Refractometer* RBX0032

3.5 Desain Alat

Alat yang Digunakan adalah Reaktor *Microbial Fuel Cell: Dual Chamber* dengan pengukuran arus dan tegangan listrik menggunakan multimeter yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 - Rangkaian alat *Microbial Fuel Cell*

3.6 Tahap Pelaksanaan dan Pengukuran Penelitian

3.6.1. Persiapan *Saccharomyces Cerevisiae*

1. Pembuatan Media

Media PDB (*Potatoes Dextrose Broth*) dibuat dengan menggunakan 1,2 gram PDB instan yang kemudian dilarutkan kedalam 50 mL air. Kemudian dididihkan dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya disterilkan dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (HiMedia Laboratories, 2015).

2. Penumbuhan *Saccharomyces Cerevisiae*

Penumbuhan *Saccharomyces Cerevisiae* dilakukan dengan cara menginokulasikan *Saccharomyces Cerevisiae* dari indukan ke media PDB. Kemudian Media PDB yang berisi *Saccharomyces Cerevisiae* diletakkan pada *shaker* pada 240 rpm selama 1 hari.

3.6.2. Pembuatan Kurva Pertumbuhan

Pembuatan kurva pertumbuhan dilakukan untuk mengetahui kondisi pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dalam media PDB pada interval waktu tertentu. Pembuatan kurva pertumbuhan dilakukan menggunakan metode *cell dry weight*. Metode ini biasanya digunakan untuk menghitung massa fungi berfilamen karena perhitungan biasa seperti perhitungan cawan dianggap kurang memuaskan untuk mengetahui pertumbuhan sel berfilamen (Tortora, 2010).

Saccharomyces cerevisiae diperoleh dari biakan media PDA Lab. Teknik Bioproses Teknik Kimia UB. *Saccharomyces Cerevisiae* dari media PDA tersebut diinokulasi secara aseptis kedalam 50 mL media PDB. Karena data yang dibutuhkan selama 78 jam maka perlu dibuat 11 buah media PDB (dimulai jam ke-0).

Setiap hari dilakukan proses filtrasi vakum, 1 media menggunakan 1 kertas saring. Pengeringan kertas saring dalam oven terjadi di suhu 110°C selama 1 jam. Kemudian dikeringkan didalam desikator selama 10 menit. Selanjutnya, kertas saring ditimbang hingga diperoleh massa konstan sel kering dengan pengulangan pemanasan dan desikasi. Pembuatan kurva pertumbuhan ini dilakukan pada rentang waktu 78 jam pertumbuhan *Saccharomyces Cerevisiae*.

3.6.3. Persiapan Substrat

1. Substrat Eceng Gondok Tanpa *Pretreatment*

Eceng Gondok yang telah ditimbang hingga mencapai 100 gram, dipotong dengan ukuran sekitar 2 cm. Selanjutnya eceng gondok dihomogenkan dengan menggunakan blender dengan tambahan air 250 ml hingga terbentuk *slurry* dengan konsentrasi 0.4 g/mL.

2. Substrat Eceng Gondok Dengan *Pretreatment* Hidrolisis

Eceng Gondok yang telah ditimbang hingga mencapai 100 gram, dipotong dengan ukuran sekitar 2 cm. Selanjutnya eceng gondok dihomogenkan dengan menggunakan blender dengan tambahan air 250 ml hingga terbentuk *slurry* dengan konsentrasi 0.4 g/mL.

Eceng gondok dalam bentuk *slurry* dihidrolisis dengan menggunakan H_2SO_4 5% w/w dengan volume 100 mL pada suhu 100°C selama 3 jam (Tsao, 1978). Selanjutnya pH diatur hingga sesuai dengan pH optimal mikroorganisme bekerja yaitu 5,0.

3. Substrat Eceng Gondok Dengan *Pretreatment* Delignifikasi dan Hidrolisis

Eceng Gondok yang telah ditimbang hingga mencapai 100 gram, dipotong dengan ukuran sekitar 2 cm. Selanjutnya eceng gondok dihomogenkan dengan menggunakan blender dengan tambahan air 250 ml hingga terbentuk *slurry* dengan konsentrasi 0.4 g/mL.

Setelah terbentuk *slurry*, eceng gondok direndam didalam larutan NaOH dengan konsentrasi 2M dengan volume 200 mL (Elwin, 2014). Kemudian didelignifikasi pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm didalam autoklaf selama 30 menit. Hal ini dilakukan agar delignifikasi eceng gondok berjalan secara *thermal* dan kimiawi. Untuk memisahkan lignin dan membuat pH kembali netral maka dilakukan pembilasan dengan aquades hingga pH netral atau 7,0.

Setelah dilakukan delignifikasi, eceng gondok dihidrolisis dengan menggunakan H_2SO_4 5% w/w dengan volume 100 mL pada suhu 100°C selama 3 jam (Tsao, 1978). Selanjutnya pH diatur hingga sesuai dengan pH optimal mikroorganisme bekerja yaitu 5,0.

4. Pembuatan jembatan garam

Jembatan garam dibuat dengan cara melarutkan NaCl dan agar. 5,85 gram NaCl dilarutkan dalam 100 mL aquades. Kemudian larutan NaCl 1M dipanaskan bersama agar dengan konsentrasi 10% hingga mendidih. Jembatan garam ini kemudian dicetak pada pipa PVC dengan ukuran panjang 10 cm serta diameter 1.25 cm (Parkash, 2015).

5. Eksperimen MFC

Eksperimen MFC dilakukan dengan 3 substrat (eceng gondok tanpa *pretreatment*, eceng gondok dengan *pretreatment* hidrolisis, dan eceng gondok dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis) sebagai variabel penelitian dan 1 substrat (blanko) sebagai pembanding. Blanko yang dimaksud yaitu eceng gondok tanpa *pretreatment* dan tanpa ditambahkan mikroorganisme. Substrat tersebut dimasukkan kedalam kompartemen anoda pada *Dual Chamber* MFC. Pada bagian katoda ditambahkan kalium permanganat 1M sebanyak 450 mL sebagai akseptor elektron. Kemudian *S. cerevisiae* dimasukkan kedalam kompartemen anoda yang telah berisikan 400 ml substrat dan 50 ml buffer fosfat. Elektroda yang digunakan menggunakan karbon baterai berukuran AA dengan diameter 0,3 inci dan panjang 2,25 inci. Selanjutnya anoda dan katoda dihubungkan dengan jembatan garam dari NaCl dan agar yang dihubungkan melalui pipa. Eksperimen ini dilakukan selama 48 jam.

6. Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan yaitu pengujian kadar glukosa dan pengukuran energi listrik yang dihasilkan (arus, tegangan, dan daya). Pada pengujian kadar glukosa digunakannya alat *refractometer* RBX0032 dengan skala 0 – 32% dengan cara meneteskan 3 tetes substrat ke alat *refractometer* lalu dilihat pada ukuran yang tersedia. Pengujian kadar glukosa ini dilakukan pada eceng gondok tanpa *pretreatment*, setelah dilakukannya delignifikasi, dan setelah hidrolisis.

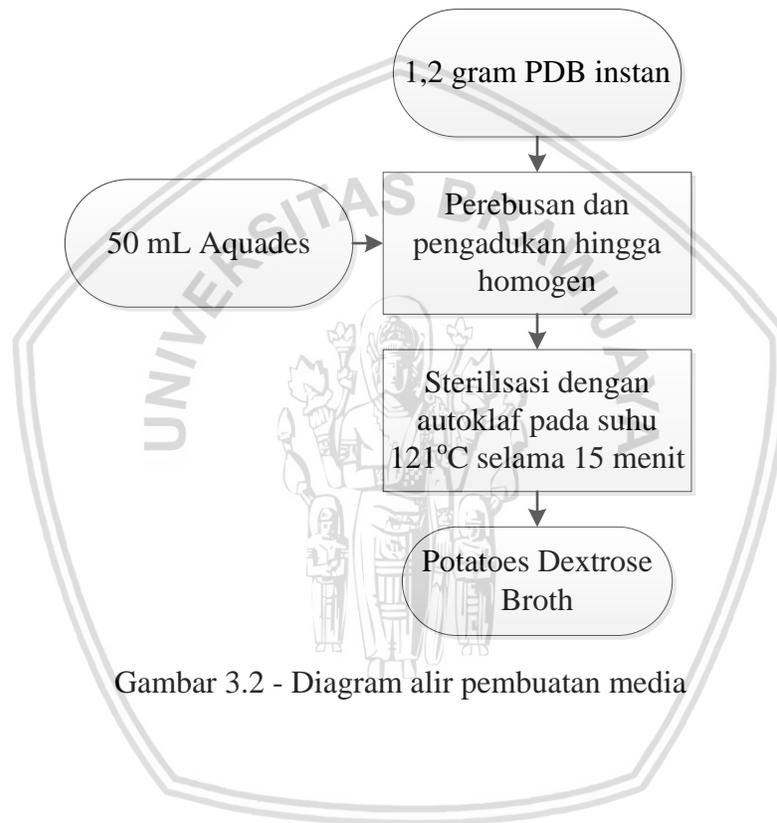
Sedangkan pada pengukuran produksi energi listrik dilakukan dengan menggunakan alat multimeter untuk mengukur arus dan tegangan listrik. Dari

arus dan tegangan listrik akan diperoleh daya listrik dengan persamaan (3.1).
Dilakukannya pengukuran energi listrik dengan interval 6 jam.

$$P = I \times V \quad (3.1)$$

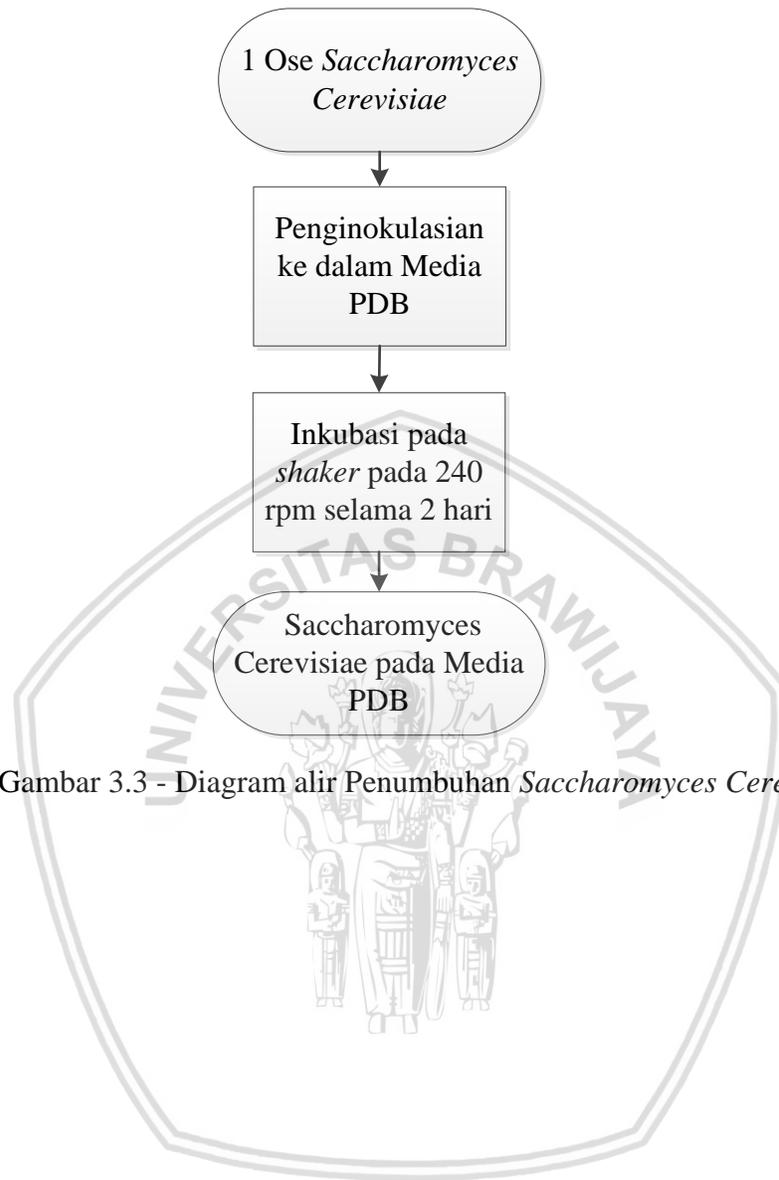
3.7 Diagram Alir Penelitian

3.7.1. Pembuatan Media



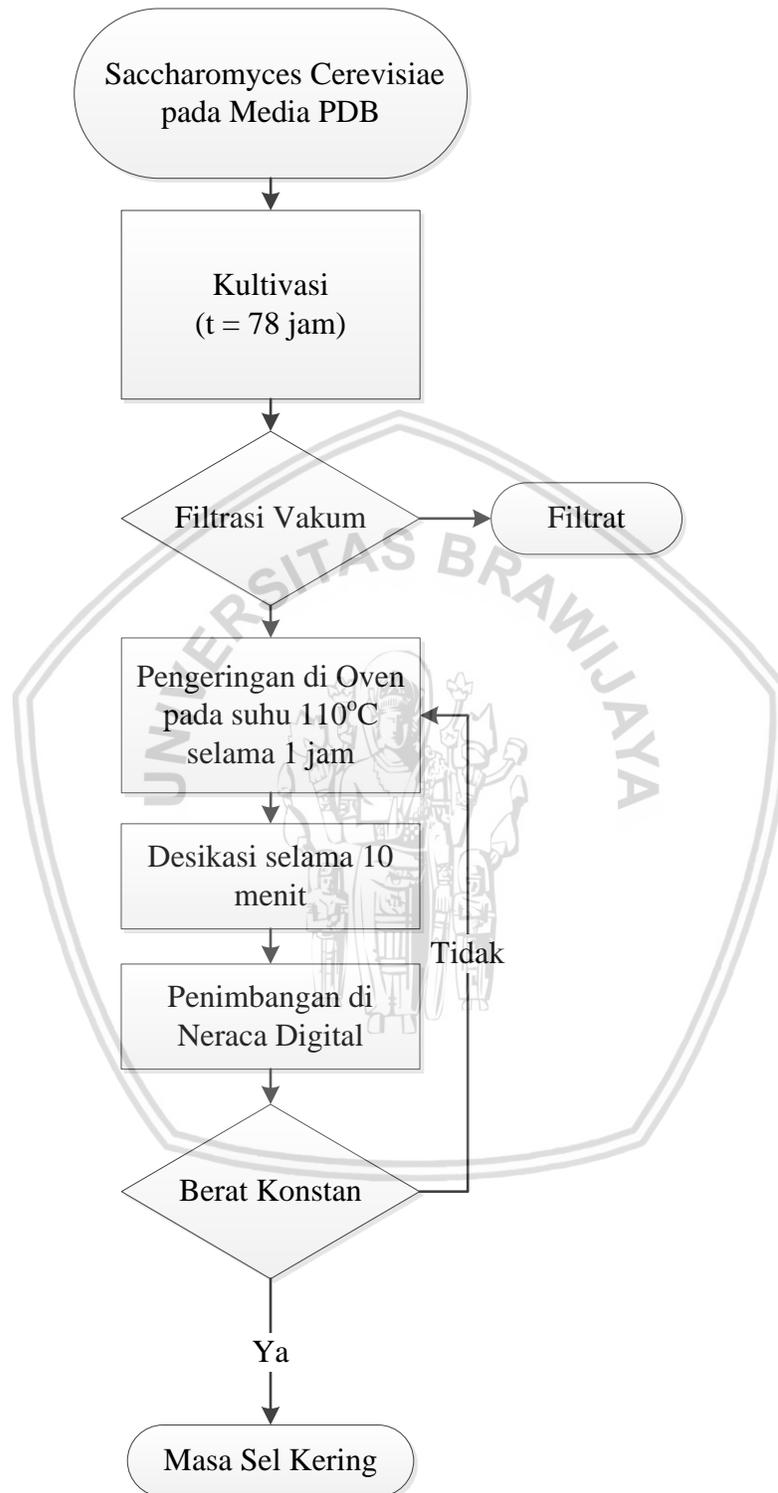
Gambar 3.2 - Diagram alir pembuatan media

3.7.2. Penumbuhan *Saccharomyces Cerevisiae*



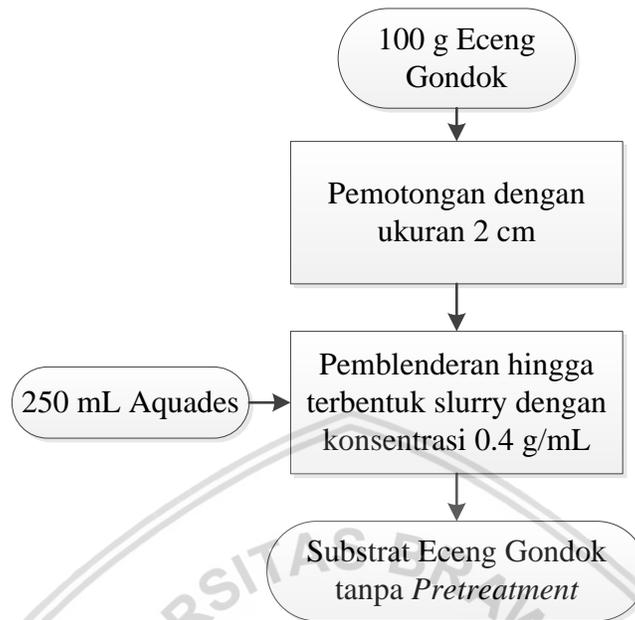
Gambar 3.3 - Diagram alir Penumbuhan *Saccharomyces Cerevisiae*

3.7.3. Pembuatan Kurva Pertumbuhan



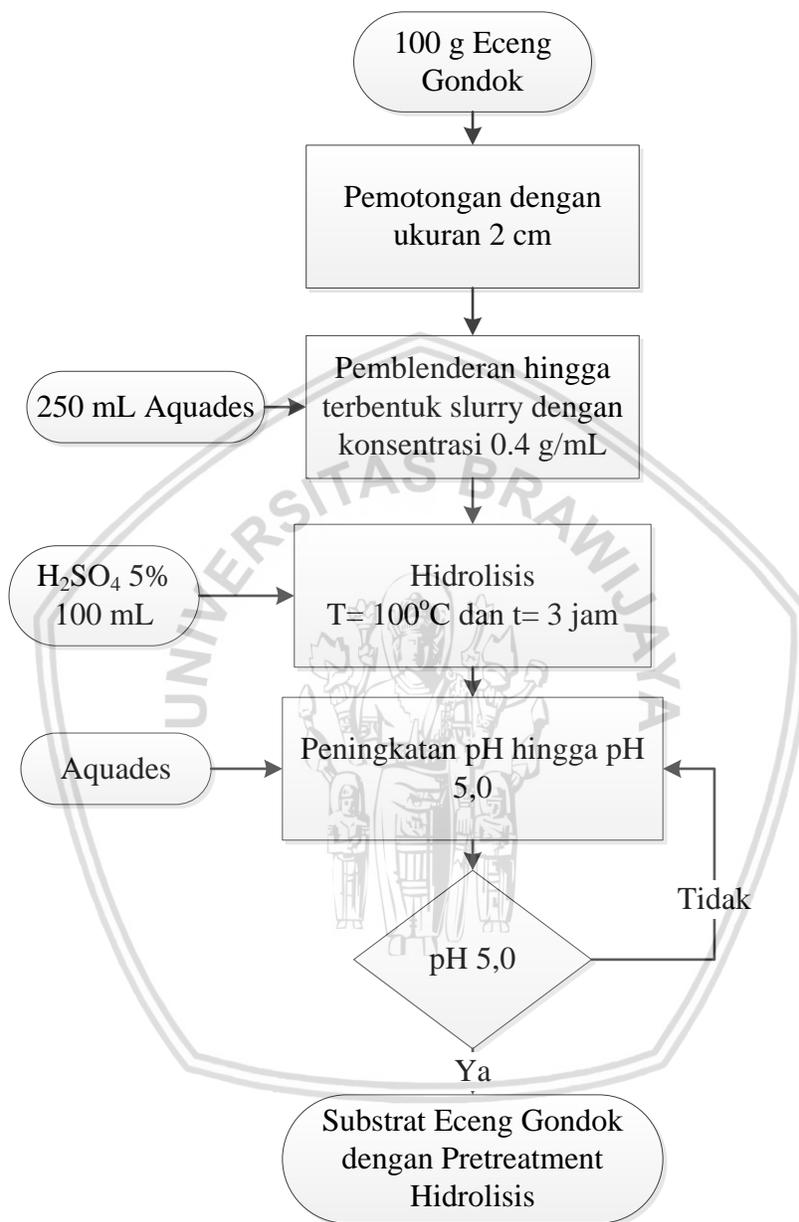
Gambar 3.4 - Diagram alir Pembuatan Kurva Pertumbuhan

3.7.4. Pembuatan Substrat Eceng Gondok Tanpa *Pretreatment*



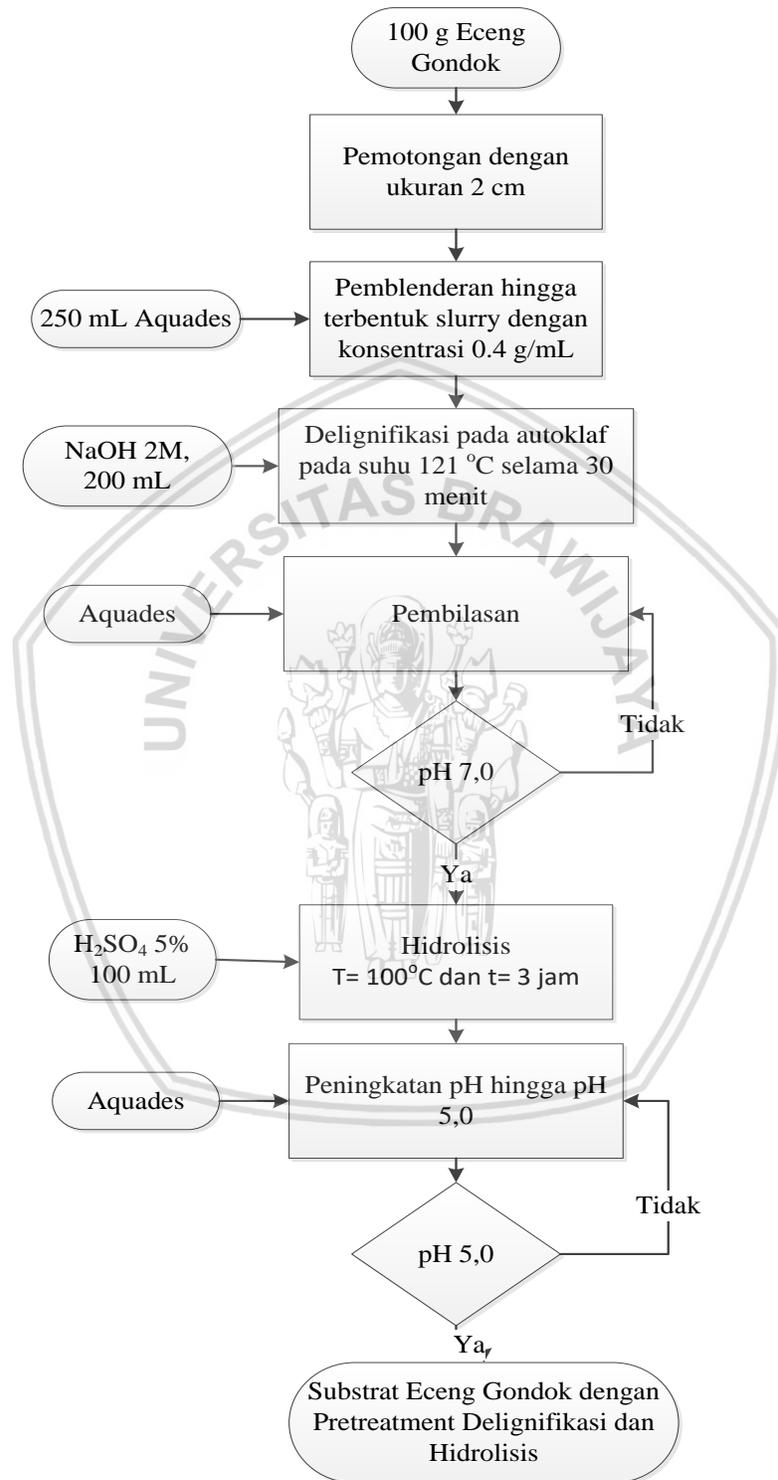
Gambar 3.5 - Diagram alir Pembuatan Substrat Eceng gondok tanpa Pretreatment

3.7.5. Pembuatan Substrat Eceng Gondok dengan *Pretreatment* Hidrolisis



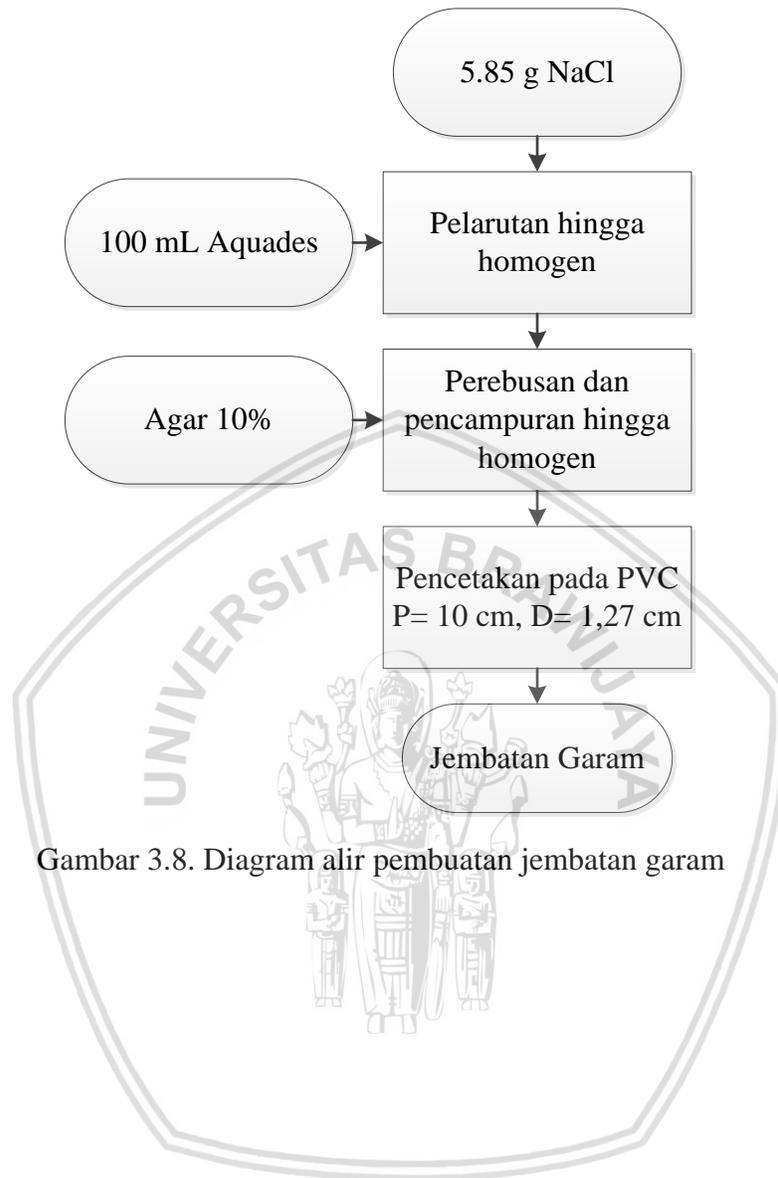
Gambar 3.6 - Diagram alir Pembuatan Substrat Eceng Gondok dengan *Pretreatment* Hidrolisis

3.7.6. Pembuatan Substrat Eceng gondok dengan *Pretreatment* Delignifikasi dan Hidrolisis



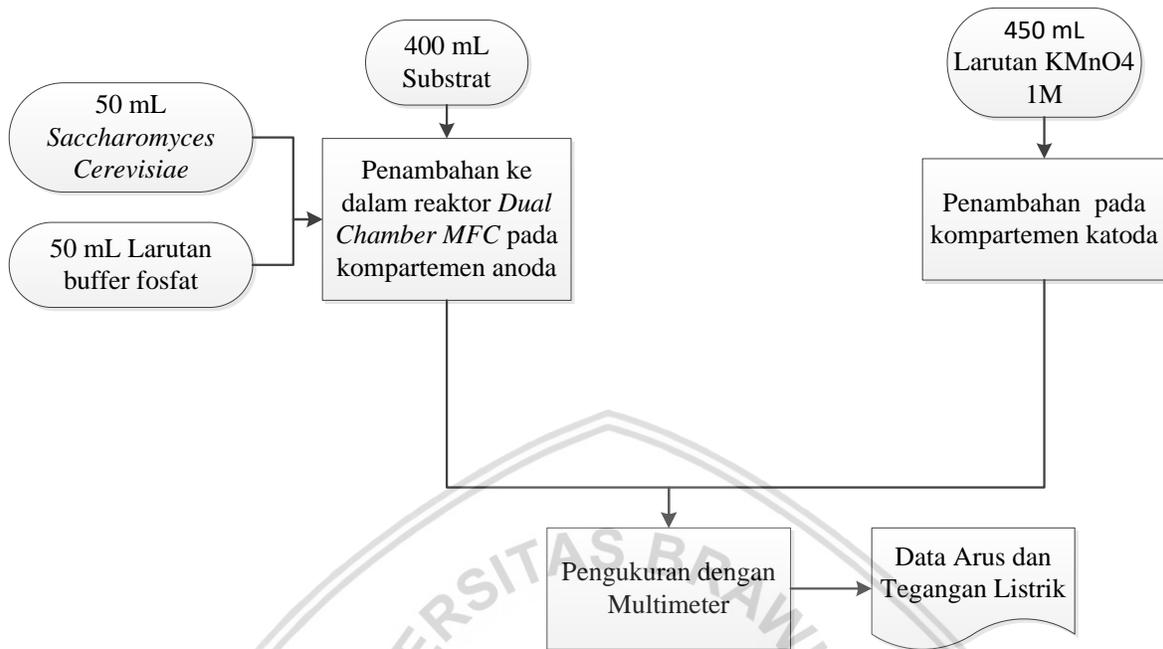
Gambar 3.7 - Diagram alir Pembuatan Substrat Eceng gondok dengan *Pretreatment* Delignifikasi dan Hidrolisis

3.7.7. Pembuatan Jembatan Garam



Gambar 3.8. Diagram alir pembuatan jembatan garam

3.7.8. Eksperimen MFC



Gambar 3.8 - Diagram alir Eksperimen MFC

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kinerja *Microbial Fuel Cell* dengan Substrat Eceng Gondok

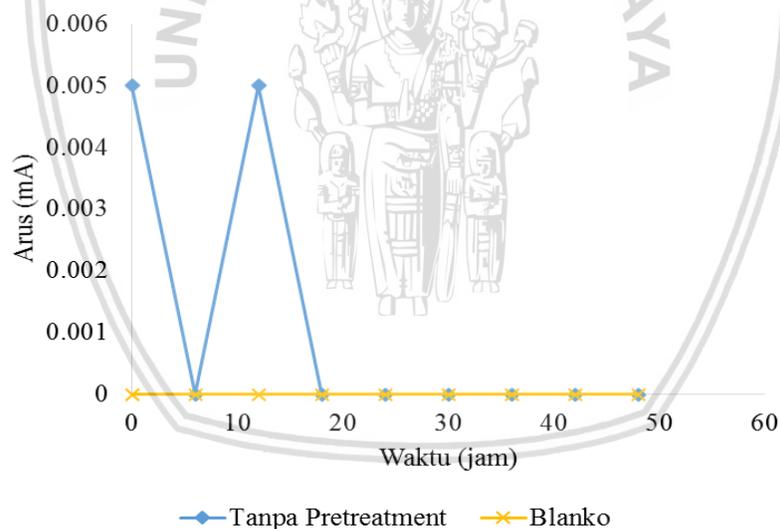
Energi listrik yang dihasilkan bergantung pada aktivitas mikroorganisme pada *chamber* anoda. Sedangkan aktivitas mikroorganisme dapat direpresentasikan sesuai dengan kurva pertumbuhan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Kurva pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dibutuhkan untuk menentukan waktu penambahan mikroorganisme dalam proses MFC. Karena dalam penelitian ini menggunakan hasil dari metabolit primer, maka diambil mikroorganisme saat dalam fase eksponensial yaitu saat jam ke-48.

Elektron yang menjadi sumber utama terjadinya listrik di sistem MFC ini berasal dari metabolisme mikroorganisme. Sedangkan metabolisme ditentukan oleh kandungan nutrisi yang dimiliki substrat atau dapat dikatakan kadar glukosa yang dimiliki eceng gondok. Eceng Gondok yang digunakan sebagai substrat merupakan eceng gondok segar tanpa melalui *pretreatment*. Kadar glukosa yang dimiliki eceng gondok tanpa *pretreatment* relatif rendah yaitu sebesar 1%. Sehingga glukosa yang terkandung dalam substrat hanyalah 1 gram glukosa dari 100 gram eceng gondok.

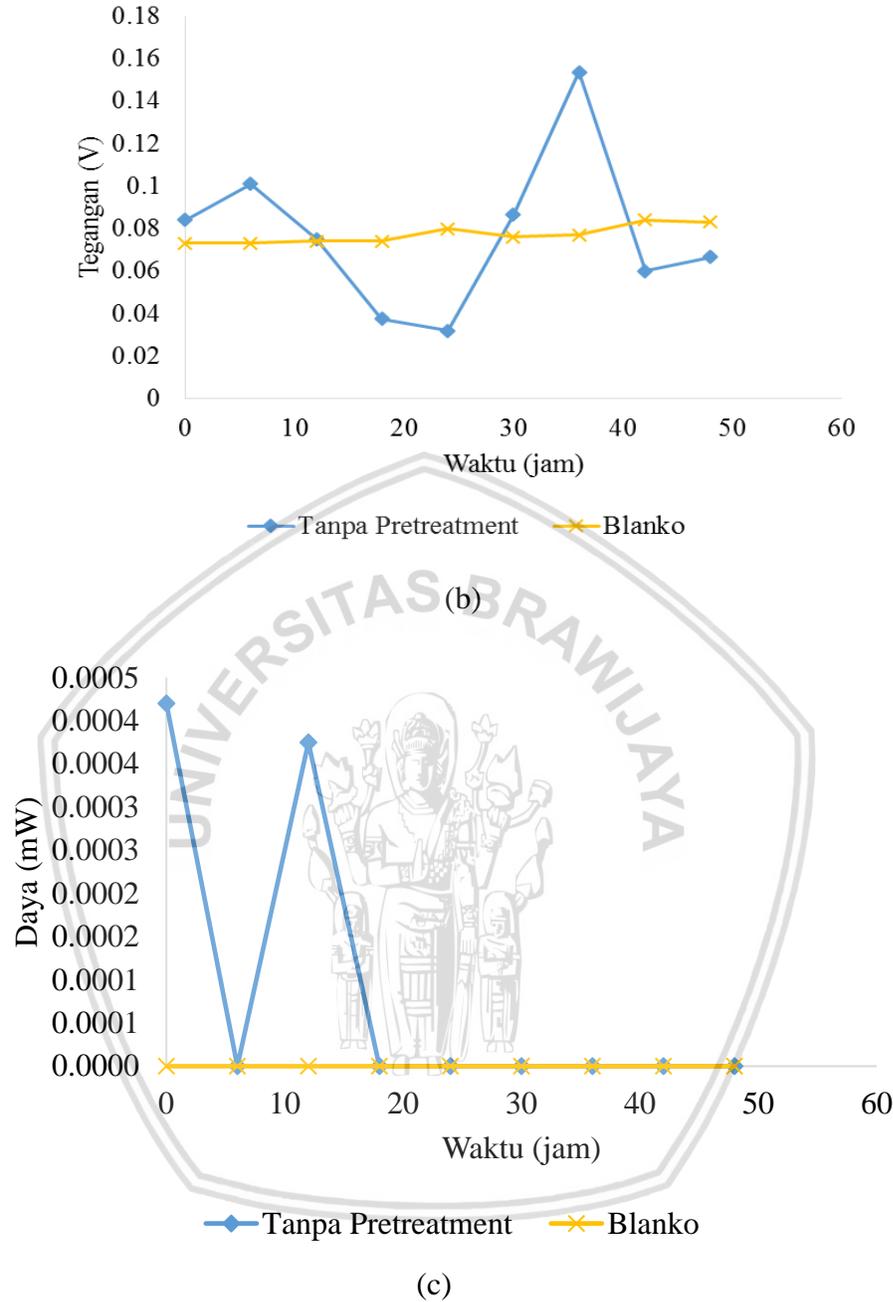
Berdasarkan kadar glukosa yang dimiliki, energi listrik yang dihasilkan juga akan relatif terbatas. Tegangan dapat timbul karena adanya beda potensial atau perbedaan jumlah elektron yang ada di kedua sisi. Ketika ada perbedaan jumlah elektron dapat mengindikasikan adanya elektron yang berpindah sehingga terdapat penambahan ataupun pengurangan jumlah elektron di salah satu sisi atau dapat dikatakan terdapat arus yang mengalir (Valkenburgh dkk, 1992).

Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan oleh eceng gondok tanpa *pretreatment* relatif kecil. Bahkan hanya pada jam ke-0 dan jam ke-12 yang terdeteksi mengalirnya arus. Munculnya arus pada jam ke-0 ini karena mikroorganisme masih bereaksi dengan glukosa dari media PDB. Karena saat sel diinokulasikan pada media baru sel akan kekurangan enzim, vitamin atau kofaktor, sehingga mikroorganisme harus mensintesis terlebih dahulu memanfaatkan nutrisi yang tersedia (Waites, 2001). Namun berbeda dengan tegangan yang selalu muncul nilainya. Karena tegangan timbul karena adanya beda potensial dari kedua kompartemen. Pada jam ke-12, 18 dan 24 tampak terjadi penurunan tegangan. Hal ini dimungkinkan karena adanya hambatan internal berupa aktivitas sel itu sendiri. Pada jam

ke-40 juga terdapat penurunan tegangan, hal ini dimungkinkan beberapa kemungkinan seperti mikroorganisme yang digunakan sudah mati atau memasuki fase *death end*, sedikitnya *nutrient* yang tersedia karena menurunnya nutrisi (glukosa) yang terkandung pada substrat, dan terbentuknya lapisan *biofilm* pada elektroda di *chamber* anoda sehingga menghambat perpindahan elektron. Sedangkan pada jam ke-48 tegangan yang dihasilkan meningkat. Ketika waktu operasi ditambah, terdapat kemungkinan akan muncul pola *intermitten* atau pola naik dan turun. Gambar 4.1 ini juga menyajikan data perbandingan arus, tegangan dan daya antara substrat eceng gondok tanpa *pretreatment* dengan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* dan eceng gondok tanpa *pretreatment* serta tanpa menggunakan mikroorganisme (blanko). Hal ini dilakukan untuk menunjukkan bahwa timbulnya energi listrik karena memang adanya pengaruh mikroorganisme yang terkandung. Hal ini menunjukkan bahwa eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai substrat pada sistem MFC. Namun karena rendahnya daya listrik yang dihasilkan, MFC dengan eceng gondok sebagai substrat akan dinilai kurang aplikatif. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi untuk meningkatkan kadar glukosa pada eceng gondok.



(a)

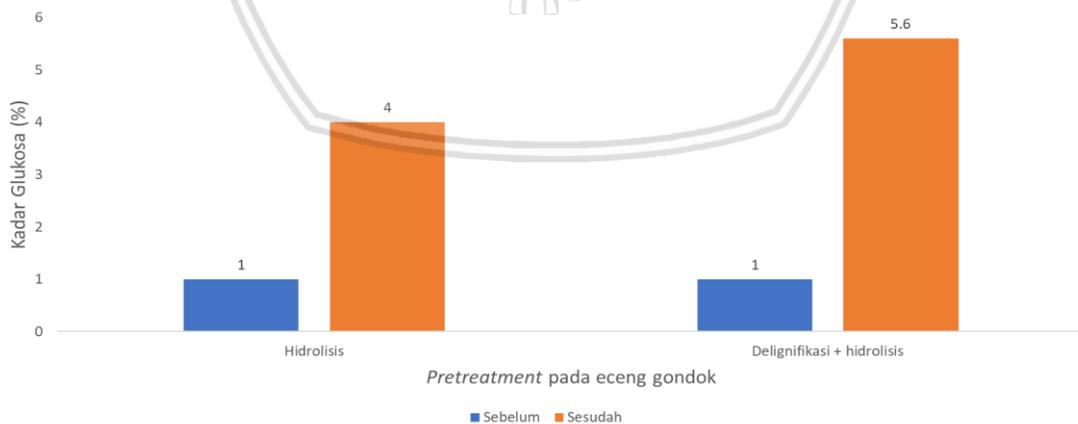


Gambar 4.1 – Grafik Pengamatan MFC dengan Substrat Eceng Gondok Tanpa Pretreatment; (a) Arus (b) Tegangan (c) Daya

4.2. Optimasi Microbial Fuel Cell

Rendahnya nilai daya listrik yang dihasilkan pada MFC dengan substrat eceng gondok tanpa pretreatment salah satunya disebabkan karena rendahnya kadar glukosa pada substrat yang terkandung. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa komponen utama pada

eceng gondok yang dapat dimanfaatkan adalah selulosa yang berpotensi untuk dikonversi menjadi glukosa. Sehingga perlu dilakukan optimasi berupa konversi selulosa menjadi glukosa yang bisa dicapai dengan proses hidrolisis. Namun selain selulosa, pada eceng gondok juga terdapat lapisan hemiselulosa dan lignin yang menyelimuti selulosa. Struktur yang terbentuk dari ikatan kovalen antara lignin dan hemiselulosa melindungi selulosa sehingga selulosa sulit untuk di hidrolisis (Awatshi dkk, 2013). Kedua kandungan tersebut akan menghambat proses degradasi selulosa terutama kandungan lignin. Oleh karena itu perlu dilakukan proses penghilangan lignin atau kerap disebut dengan delignifikasi (Mudhoo, 2012). Sesuai dengan gambar 4.2 terlihat bahwa terdapat peningkatan kadar glukosa pada eceng gondok ketika dilakukan *pretreatment* berupa delignifikasi dan/atau hidrolisis. Dari meningkatnya kadar glukosa pada substrat diharapkan dapat meningkatkan kinerja sistem MFC. Namun, faktor yang mempengaruhi kinerja sistem MFC tidak hanya berdasarkan kadar glukosa yang terkandung pada substrat melainkan juga aktivitas mikroorganisme yang dipengaruhi oleh kondisi dan pemilihan mikroorganisme yang digunakan, transfer elektron dari sel mikroorganisme menuju anoda yang dipengaruhi oleh elektroda yang digunakan dan ada atau tidaknya resistensi seperti *biofilm*, transfer proton dari anoda ke katoda melewati jembatan garam, serta reaksi yang terjadi pada katoda. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut perihal optimasi sistem MFC pada aspek lainnya.

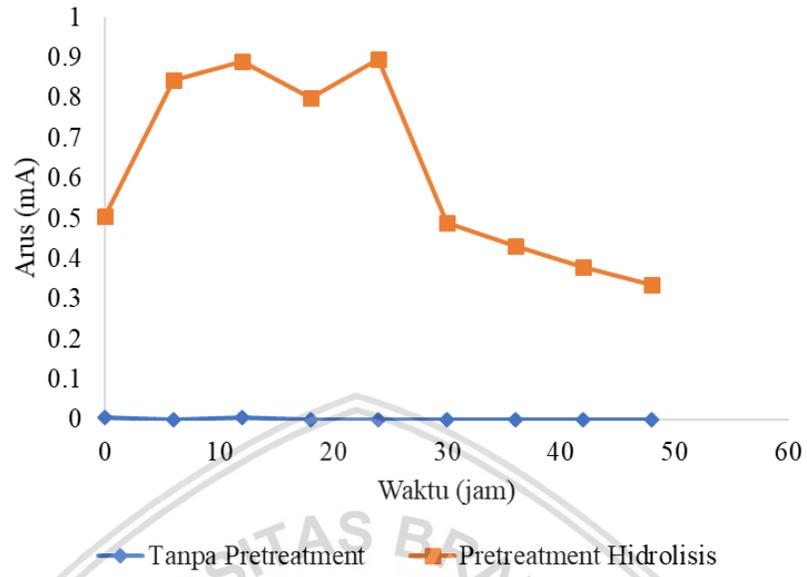


Gambar 4.2 – Grafik Pengaruh *Pretreatment* terhadap kadar glukosa pada substrat

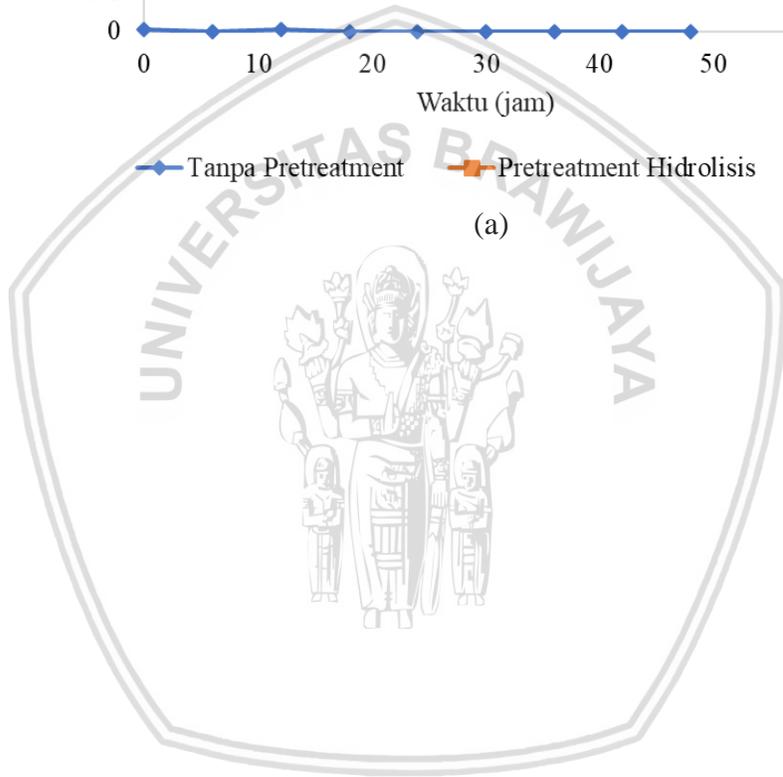
4.2.1. Kinerja *Microbial Fuel Cell* Dengan Substrat Eceng Gondok *Pretreatment* Hidrolisis

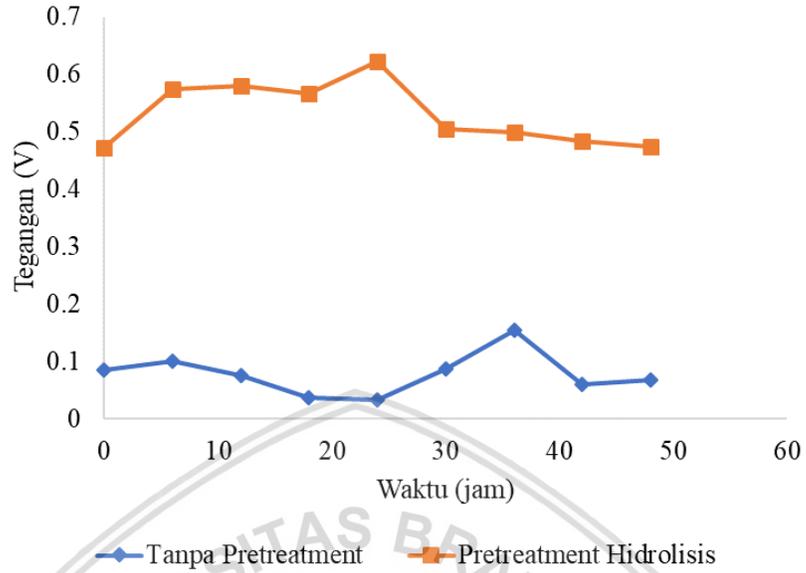
Eceng Gondok yang digunakan sebagai substrat dengan *pretreatment* hidrolisis ini merupakan eceng gondok segar yang direndam pada larutan H_2SO_4 selama 3 jam pada suhu $100^\circ C$ dan tekanan 1 atm (Tsao, 1987). Proses hidrolisis ini bertujuan untuk mendegradasi kandungan selulosa untuk menjadi glukosa (Mudhoo, 2012). Hal ini sesuai dengan Gambar 4.2 dimana peningkatan kandungan glukosa dari 1% meningkat hingga 4%. Kadar glukosa tersebut lebih tinggi daripada kadar glukosa pada substrat eceng gondok tanpa *pretreatment*. Sehingga glukosa yang dimiliki substrat eceng gondok dengan *pretreatment* hidrolisis ini senilai 4 gram glukosa dalam 100 gram eceng gondok.

Dengan kadar glukosa yang dimiliki substrat ini, daya yang dihasilkan pun lebih tinggi daripada substrat eceng gondok tanpa *pretreatment*. Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa nilai daya listrik tertinggi yang dapat dicapai sistem MFC dengan substrat eceng gondok dengan *pretreatment* hidrolisis yakni 0,557 mW dengan rincian arus listrik sebesar 0,9 mA dan tegangan sebesar 0,623 V pada jam ke-24. Penurunan daya setelah jam ke-24 dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan seperti fase mikroorganisme sudah mencapai fase *death end* sehingga mikroorganisme sudah mati dan tidak dapat beraktivitas lagi, menurunnya nutrisi (glukosa) yang terkandung pada substrat sehingga mikroorganisme kekurangan nutrisi untuk bermetabolisme, dan terbentuknya lapisan *biofilm* pada elektroda di *chamber* anoda sehingga menghambat perpindahan elektron. Pola naik turunnya daya listrik pun menyerupai kurva pertumbuhan mikroorganisme, sehingga dapat dikatakan mikroorganisme bekerja.

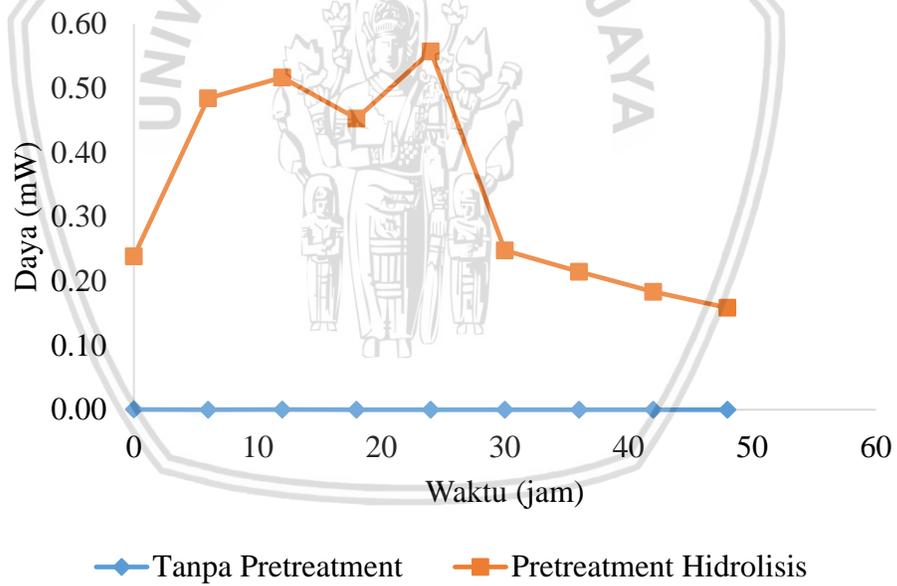


(a)





(b)



(c)

Gambar 4.3 – Grafik Pengamatan Kinerja MFC dengan substrat eceng gondok *pretreatment* hidrolisis; (a) Arus (b) Tegangan (c) Daya

4.2.2. Kinerja *Microbial Fuel Cell* Dengan Substrat Eceng Gondok *Pretreatment* Delignifikasi dan Hidrolisis

Telah disebutkan sebelumnya bahwa proses hidrolisis ini bertujuan untuk mendegradasi kandungan selulosa untuk menjadi glukosa (Mudhoo, 2012). Namun karena masih adanya kandungan lignin pada eceng gondok maka proses degradasi selulosa menjadi glukosa akan terhambat (Awatshi dkk, 2013). Oleh karena itu perlu dilakukannya proses delignifikasi sebelum dilakukan proses hidrolisis.

Eceng Gondok yang digunakan sebagai substrat dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis ini merupakan eceng gondok segar yang direndam dengan larutan NaOH selama 30 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kandungan lignin pada eceng gondok sekaligus meningkatkan efisiensi degradasi substrat secara kimiawi.

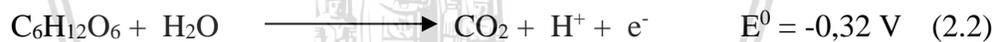
Eceng gondok segar yang telah melewati proses delignifikasi ini dilanjut dengan perendaman substrat pada larutan H₂SO₄ selama 3 jam pada suhu 100 °C dengan tekanan 1 atm. Setelah berkurangnya kandungan lignin, proses hidrolisis ini bertujuan untuk mendegradasi kandungan selulosa untuk menjadi glukosa. Sesuai dengan gambar 4.2 dimana terdapat peningkatan kandungan glukosa dari 1% menjadi 5,6%. Sehingga glukosa yang dimiliki substrat ini senilai 5,6 gram glukosa dalam 100 gram eceng gondok.

Dengan kadar glukosa yang dimiliki substrat eceng gondok dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis ini, daya yang dihasilkan menjadi lebih tinggi daripada substrat dengan *pretreatment* hidrolisis maupun tanpa *pretreatment*. Peningkatan ini dikarenakan bertambahnya kadar glukosa yang terkandung dari substrat. Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa nilai daya listrik tertinggi yang dapat dicapai sistem MFC dengan substrat ini yakni 1,501 mW dengan rincian arus listrik sebesar 1,25 mA dan tegangan sebesar 1,201 V pada jam ke-6. Penurunan daya setelah jam ke-6 tidak begitu signifikan sampai jam ke-18, hal ini menandakan bahwa diantara rentang jam tersebut tercapai fase stasioner. Setelah jam ke-18 baru dialami penurunan yang signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan seperti mikroorganisme yang digunakan sudah mati atau memasuki fase *death end*, sedikitnya *nutrient* yang tersedia karena menurunnya nutrisi (glukosa) yang

terkandung pada substrat, dan terbentuknya lapisan *biofilm* pada elektroda di *chamber* anoda sehingga menghambat perpindahan elektron. Pola naik turunnya daya listrik pun sudah menyerupai kurva pertumbuhan mikroorganisme, sehingga dapat dikatakan mikroorganisme bekerja.

Meskipun pada jam ke-0 terlihat bahwa arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh substrat dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis lebih rendah daripada substrat dengan *pretreatment* hidrolisis, bukan berarti substrat dengan *pretreatment* hidrolisis lebih optimal daripada substrat dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis. Hal ini tunjukkan pada jam berikutnya, substrat dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis memiliki arus, tegangan dan daya di atasnya. Fenomena yang terjadi pada jam ke-0 kemungkinan dapat disebabkan karena mikroorganisme masih bereaksi dengan glukosa dari media PDB. Karena saat sel diinokulasikan pada media baru sel akan kekurangan enzim, vitamin atau kofaktor, sehingga mikroorganisme harus mensintesis terlebih dahulu memanfaatkan nutrisi yang tersedia (Waites, 2001).

Jika ditinjau dari potensi reduksi pada kondisi standar (1 mol) yang ada pada kompartemen anoda dan katoda, maka akan didapatkan V teoritis dimana



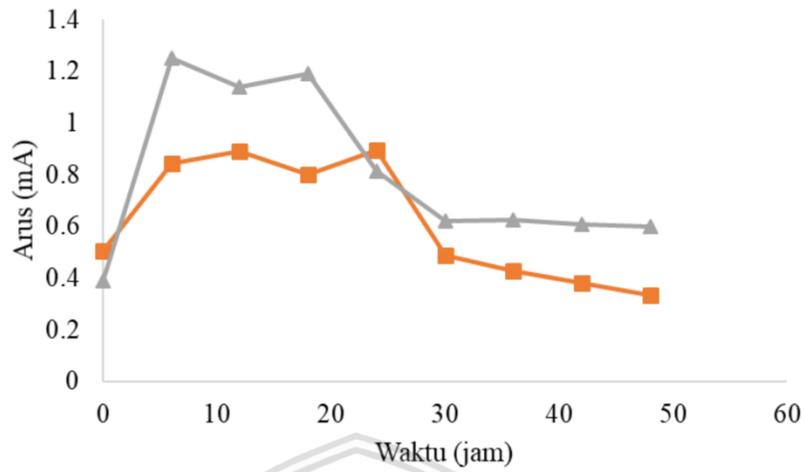
$$E \text{ sel} = 1,38 \text{ V}$$

Namun tentu akan terjadi perbedaan antara V teoritis dan aktual. Didapatkan nilai V aktual dengan rata-rata V pada 48 jam dengan nilai 0,801 V. Dengan didapatkan nilai V aktual dan V teoritis maka dapat didapatkan pula nilai efisiensi alat sesuai dengan persamaan (4.1).

$$\text{Efisiensi alat} = \frac{V \text{ Aktual}}{V \text{ teoritis}} \times 100\% \quad (4.1)$$

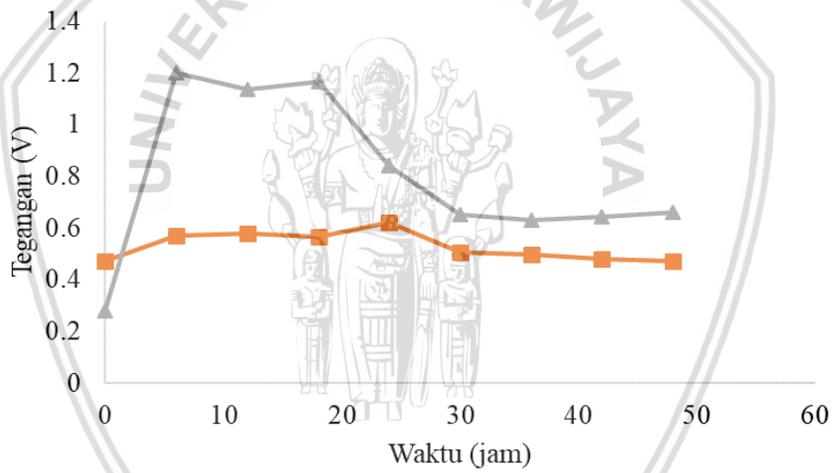
Dengan memasukkan nilai V aktual dan V teoritis pada persamaan (4.1) maka didapatkan nilai efisiensi alat sebesar 58%.

Dalam 48 jam waktu operasi didapatkan pula total energi yang dihasilkan sebesar 139.655 Joule. Dengan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,801 V, maka dibutuhkan sekitar 3 reaktor MFC yang dipasang seri untuk bisa menyalakan sebuah lampu LED berwarna merah dengan tegangan 2,1 V.



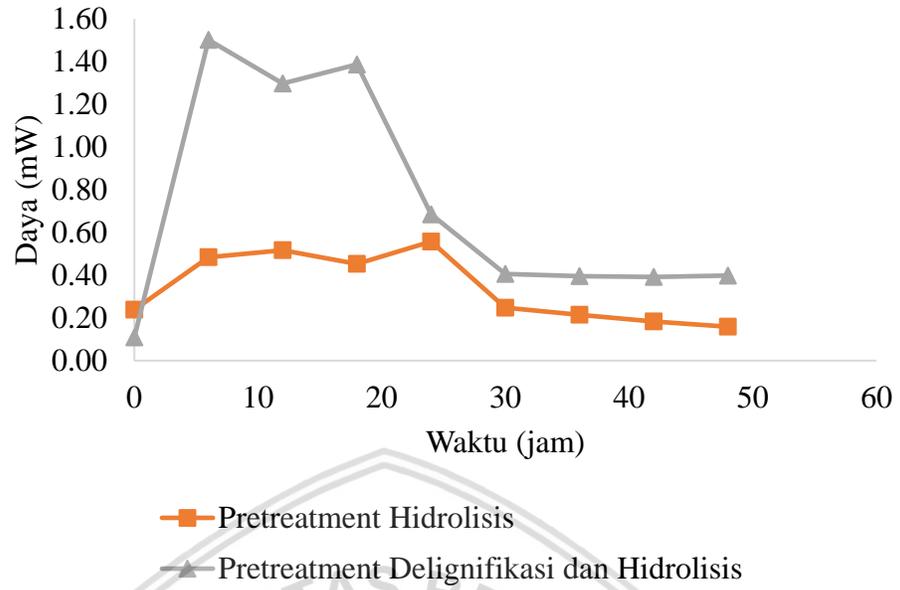
■ Pretreatment Hidrolisis
▲ Pretreatment Delignifikasi dan Hidrolisis

(a)



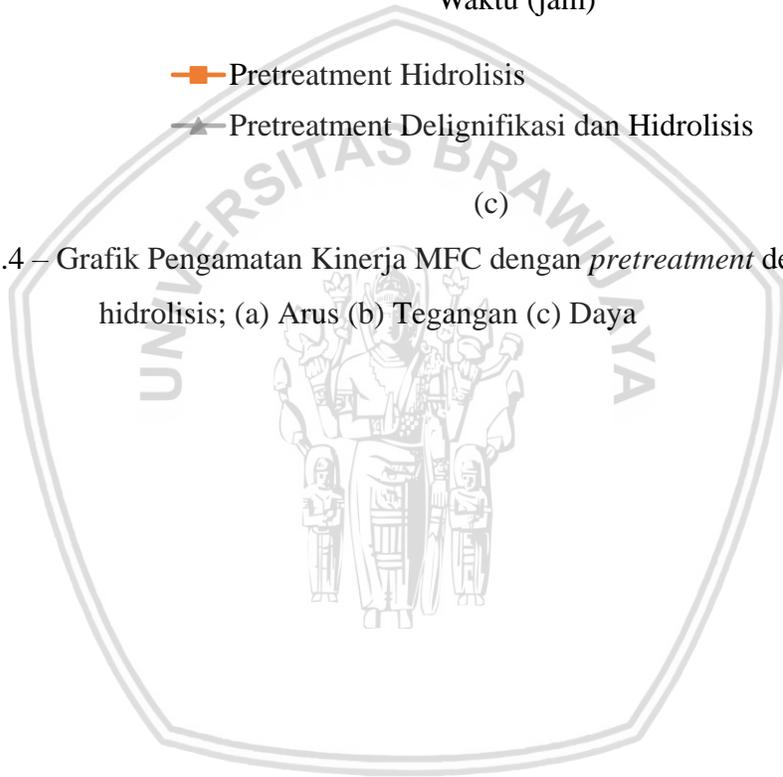
■ Pretreatment Hidrolisis
▲ Pretreatment Delignifikasi dan Hidrolisis

(b)



(c)

Gambar 4.4 – Grafik Pengamatan Kinerja MFC dengan *pretreatment* delignifikasi dan hidrolisis; (a) Arus (b) Tegangan (c) Daya



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai substrat pada sistem *microbial fuel cell* dengan menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Namun diperlukan upaya optimasi untuk meningkatkan daya listrik yang dihasilkan
2. Optimasi dapat dilakukan secara fisika, *thermal*, dan kimiawi dengan melakukan serangkaian *pretreatment* dari *size reduction*, dipanaskan dan dilakukan proses delignifikasi serta hidrolisis. Didapatkan daya tertinggi senilai 1,501 mW dengan rincian arus listrik sebesar 1,25 mA dan tegangan sebesar 1,201 V.

5.2 Saran

Karena penelitian yang dilakukan masih belum maksimal, maka penulis menyarankan:

1. Dilakukan percobaan dengan menggunakan *pretreatment* lainnya untuk mengetahui *pretreatment* yang cocok untuk substrat eceng gondok.
2. Dilakukan percobaan menggunakan mikroorganisme lainnya untuk mengetahui mikroorganisme yang cocok untuk substrat eceng gondok.
3. Dilakukan pemisahan dengan metode lain saat usai dilakukannya proses delignifikasi untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
4. Dilakukan percobaan dengan variasi waktu penginkulasian *S. cerevisiae* ke MFC pada waktu fase eksponensial yang lain untuk mengetahui waktu optimal inokulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A. F., Moahmed A, Abdel Naby. 2012. *Pretreatment and Enzymic saccharification of water hyacinth cellulose. Carbohydrate Polymers*
- Awatshi, M., Kaur, J., & Rana, S. 2013. *Bioetanol production through water hyacinth Eichornia crassipes via optimization of the preteratment condition*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 3(3): 42-46.
- Croft, Terrerl. 1987. *American Electricians' Handbook*. New York: Mc Graw Hill
- Cheng, S., H. Liu dan B.E. Logan. 2006. Increased Performance of Single-Chamber Microbial Fuel Cells Using an Improved Cathode Structure. *Electrochem. Commun*, 8: 489-494
- Das Debrata, 2018. *Microbial Fuel Cell: A Bioelectrochemical System that Converts Waste to Watts*. India: Capital Publishing Company
- Day, R.A. & A. L. Underwood.1998.*Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Djamin Martin. 2009. *Sains & Teknologi 2*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Dickinson & Schweizer, 2004. *The Metabolisme and Molecular Phsyiology of Saccharomyces cerevisiae*. Philadelphia: Taylor & Francis Group
- Elwin, Musthofa L. & Yusuf H. 2014. *Analisis Pengaruh Waktu Pretreatment dan Konsentrasi NaOH terhadap Kandungan Selulosa, Lignin dan Hemiselulosa Eceng Gondok Pada Proses Pretreatment Pembuatan Etanol*. Malang: Universitas Brawijaya
- Guerrero-Rangel N., dkk. 2010. *Comparative study of three cathodic electron acceptors on the performance of mediatorless microbial fuel cell*. International Journal of Electrical and Power Engineering (4) 1: 27-31.
- Harmesen, P. F. H., dkk. 2010. *Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass*. Wageningen University & Research Centre
- Iroba, L. Kingsley, Majid Soleimani & Lope G. Tabil. 2018. *Biomass Preprocessing and Pretreatments for Production of Biofuels: Mechanical, Chemical and Thermal Methods*. Chapter 14: Compositional and Structural Modification of Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production by Alkaline Treatment. CRC Press.
- Jongmeesuk, Atcharaporn, Sanguanchaipaiwong, v & Ochaikul D.. 2014. *Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis from Water Hyacinth*. Journal KMITL Sci. Tech. J. Vol. 14 No. 2 Jul.-Dec. 2014
- Kordesch K dan Simander G. 2001. *Fuel Cell and Their Application*. New York: VCH.

- Li, J., Fu, Q. dkk. 2009. *Persulfate: A Self-Activated Cathodic Electron Acceptor for Microbial Fuel Cells*. *J. Power Sour.*, 194: 269-274.
- Liu, H., dan B.E. Logan. 2004. *Electricity Generation Using An-Air Cathode Single Chamber Microbial Fuel Cell in the Presence and Absence of a Proton Exchange Membrane*. *Environmental Science & Technology* 38(14):4040-4046.
- Logan, Bruce E. 2008. *Microbial Fuel Cell*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Monk, Paul. 2004. *Physical Chemistry: Understanding our Chemical World*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Mudhoo, Ackmez. 2012. *Biogas Production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*. Salem: Scrivener Publishing LLC
- Novitasari, D. 2011. *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) Untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*. Skripsi dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia
- Outlook ESDM 2016
- Pant, D., Singh, A. dkk. 2012. *Bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy production and product recovery from organic wastes and industrial wastewaters*. *Journal RSC Advances*, 2012, 2, 1248–1263
- Parkash, Anand., Aziz, Shaheen & Soomro SA. 2015. *Impact of Salt Concentration using Hostel Sludge Based Dual Chambered Microbial Fuel Cell*. Jamshoro: *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*
- Patil., dkk. 2012. *Kinetics of Anaerobic Digestion of Water Hyacinth Using Poultry Litter as Inoculum*. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol.2, No.2.
- Pham, H.T., J.K. Jang, I.S. Chang dan B.H. Kim, 2004. *Improvement of Cathode Reaction of Mediatorless Microbial Fuel Cell*. *J. Microbiol Biotechnol.*, 14: 324-329
- Rahimnejad, M., Adhami, A. dkk. 2015. *Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review*. *Alexandria Engineering Journal* (2015) 54, 745–756
- Shukla, A.K., Suresh, P. dkk. 2004. *Biological Fuel Cells and Their Applications*. *Journal: Current Science*, Vol. 87, No. 4, 25 August 2004
- Sabour, M.F.Abdel, 2010. *Water Hyacinth: Available And Renewable Resource*. *Electric Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, ISSN :1579-4377, Vol.9 (11).Hal : 1746-1759.

- Tortora, GJ, Funke BR, Case CL. 2010. *Microbiology: An Introduction*, 10th edition. San Fransisco: Pearson Benjamin Cummings.
- Tsao, G.T., Michael R. Ladisch & Arindam Bose. 1978. *Acid Hydrolisi of Cellulose to Yield glucose*. USA: United States Patent
- Valkenburgh Van, Nooger & Neville, Inc. 1992. *Basic Electricity: Revised Edition*. St. Indianapolis: PROMPT Publication.
- Wang, Z. 2009. *Alkaline Pretreatment of coastal Bermudgrass for Bioethanol Production*. Thesis. Raleigh: North Carolina State University
- Waites, Michael J., Neil L. Morgan, John S. Rockey, dan Gary Higton. 2001. *Industrial Microbiology: An Introduction*. London: Blackwell Science
- William H hayt, Jr Jack E. kemmerly, Steven M. Durbin. 2002. *Rangkaian Listrik Jilid 1* .Ed 6. Jakarta : Penerbit Airlangga.
- Wright, Margaret R..2007. *An Introduction to Aqueous Electrolyte Solutions*.Chichester: John Willey & Sons.
- You. S., Q. Zhao, J. dkk. 2006. *A microbial fuel cell using permanganate as the cathodic electron acceptor*. J. Power Sour., 162: 1409-1415
- Zahara, N.C. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces cerevisiae Dalam Sistem Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Energi Listrik*. Skripsi dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia