

**PRODUKSI ENERGI LISTRIK DAN BIOETANOL DARI SISTEM
MICROBIAL FUEL CELL MENGGUNAKAN SACCHAROMYCES
CEREVISIAE DENGAN SUMBER SUBSTRAT ALGA MERAH
(*Eucheuma cottonii*) DAN KULIT UBI KAYU (*Manihot utilissima*)**

*PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY AND BIOETHANOL
FROM MICROBIAL FUEL CELL SYSTEM USING SACCHAROMYCES
CEREVISIAE WITH RED ALGAE (*Eucheuma cottonii*) AND
CASSAVA PEEL (*Manihot utilissima*) AS A SUBSTRATES SOURCE*

ADE RAHMAWATI IDRIS



**PROGRAM STUDI KIMIA
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

**PRODUKSI ENERGI LISTRIK DAN BIOETANOL DARI SISTEM
MICROBIAL FUEL CELL MENGGUNAKAN SACCHAROMYCES
CEREVISIAE DENGAN SUMBER SUBSTRAT ALGA MERAH
(*Eucheuma cottonii*) DAN KULIT UBI KAYU (*Manihot utilissima*)**

*PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY AND BIOETHANOL
FROM MICROBIAL FUEL CELL SYSTEM USING SACCHAROMYCES
CEREVISIAE WITH RED ALGAE (*Eucheuma cottonii*) AND
CASSAVA PEEL (*Manihot utilissima*) AS A SUBSTRATES SOURCE*

ADE RAHMAWATI IDRIS



**PROGRAM STUDI KIMIA
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

**PRODUKSI ENERGI LISTRIK DAN BIOETANOL DARI SISTEM
MICROBIAL FUEL CELL MENGGUNAKAN SACCHAROMYCES
CEREVISIAE DENGAN SUMBER SUBSTRAT ALGA MERAH
(*Eucheuma cottonii*) DAN KULIT UBI KAYU (*Manihot utilissima*)**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Kimia

Disusun dan diajukan oleh

ADE RAHMAWATI IDRIS

H012201003

Kepada

**PROGRAM MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**PRODUKSI ENERGI LISTRIK DAN BIOETANOL DARI SISTEM
MICROBIAL FUEL CELL MENGGUNAKAN SACCHAROMYCES
CEREVISEAEI DENGAN SUMBER SUBSTRAT ALGA MERAH
(*Eucheuma cottonii*) DAN KULIT UBI KAYU (*Manihot utilissima*)**

Disusun dan diajukan oleh

ADE RAHMAWATI IDRIS
NOMOR POKOK: H012201003

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 13 September 2022

Dan dinyatakan memenuhi syarat

Menyetujui:
Komisi penasehat

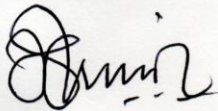


Prof. Ahyar Ahmad, Ph.D.



Dr. Abdul Karim, M.Si.

Ketua Program Studi
Magister Kimia



Dr. Hasnah Natsir, M.Si

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng Amiruddin, M.Si

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ade Rahmawati Idris
NIM : H012201003
Program Studi : Kimia
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Produksi Energi Listrik dan Bioetanol dari Sistem *Microbial Fuel Cell* menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dengan Sumber Substrat Alga Merah (*Eucheuma cottonii*) dan Kulit Ubi Kayu (*Manihot utilissima*)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa Tesis yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 September 2022

Yang menyatakan



Ade Rahmawati Idris

Ucapan Terima Kasih

Bismillahirrahmanirrahim, segala puji dan syukur kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat, hidayah dan kemudahan yang selalu diberikan kepada hamba-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul **“Produksi Energi Listrik dan Bioetanol dari Sistem *Microbial Fuel Cell* Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dengan Sumber Substrat Alga Merah (*Eucheuma cottonii*) dan Kulit Ubi Kayu (*Manihot utilissima*)”** sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains. Shalawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad S.A.W.

Kepada kedua orang tua tercinta, ayahanda **alm. Muh. Idris**, dan ibunda **Nelawati** terima kasih untuk setiap semangat, bantuan, kasih sayang dan doa yang senantiasa tak henti-hentinya diberikan kepada saya., semoga Allah senantiasa meridhoi, melimpahkan rahmat-Nya berupa kasih sayang, keteguhan hati di atas agama Allah, dan kemuliaan bukan hanya di dunia tapi juga di akhirat Insya Allah. Terima kasih juga kepada adik saya **Nurul** yang selalu menyemangati dan memberikan motivasi untuk saya, semoga Allah senantiasa melindungi dan diberikan jalan kebenaran, Aamiin.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan tesis ini. Untuk itu, iringan doa dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada **Prof. Ahyar Ahmad, Ph.D.** dan **Dr. Abdul Karim, M.Si.** selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran, ketelatenan dan keikhlasan di tengah-tengah kesibukannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan serta pengarahan dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Dr. Seniwati Dali, M.Si., Dr. Syarifuddin Liong, M.Si. dan Dr. Siti Fauziah, M.Si.**, selaku komisi penilai, terima kasih atas masukan berupa kritik dan saran yang telah diberikan demi penyempurnaan penulisan tesis.
2. **Dr. Hasnah Natsir, M.Si.**, selaku ketua program studi ilmu kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin terima kasih atas motivasi dan bantuannya.

3. Dekan Fakultas MIPA, Ketua Jurusan KIMIA Fakultas MIPA, dan seluruh dosen Kimia Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah membagi ilmunya serta seluruh staf Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
4. Kepala Laboratorium dan seluruh staf Laboratorium Biokimia, Laboratorium Science Building Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Biokimia dan Instrumen UIN Alauddin Makassar, terima kasih atas segala bantuan fasilitas yang telah diberikan selama penelitian berlangsung.
5. Pak **Irsan** selaku staf Program Studi S2 Kimia yang selalu membantu dan memberikan masukannya dalam penyelesaian administrasi.
6. Rekan kerja penelitian biokimia **Aisyah Rusdin, Siti Khairunnur, Mira Khairunnisa, Besse Illang Sari, Jumardi dan Inal Iqbal** atas segala bantuan, dukungan, masukan, saran, doa dan semangatnya.
7. Teman-teman seperjuangan Pasacasarjana Kimia Angkatan **2020** terima kasih atas segala bantuan dan semangatnya.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis selama menyelesaikan penelitian ini, terima kasih.

Penulis sadar bahwa tesis ini tidak sempurna dan banyak kekurangan baik materi maupun teknik penulisan, karena sejatinya kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca, dan semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dalam pengembangan ilmu pengetahuan bidang ilmu biokimia terkhusus teknologi terbarukan untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan.

Terima kasih.

Makassar, September 2022
Penulis

Ade Rahmawati Idris

ABSTRAK

ADE RAHMAWATI IDRIS. **Produksi Energi Listrik dan Bioetanol dari Sistem *Microbial Fuel Cell* menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dengan Sumber Substrat Alga Merah (*Eucheuma cottonii*) dan Kulit Ubi Kayu (*Manihot utilissima*)** (dibimbing oleh Ahyar Ahmad dan Abdul Karim)

Penggunaan bahan bakar minyak dan gas yang terus menerus menyebabkan krisis energi global dan pencemaran lingkungan, sehingga perlu digunakan sumber energi terbarukan yang bersifat ramah lingkungan. *Microbial fuel cell* (MFC) merupakan teknologi yang dapat menghasilkan listrik dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan mikroorganisme sebagai katalis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan substrat dengan penambahan larutan elektrolit terhadap arus, tegangan dan densitas daya pada sistem MFC, menganalisis potensi dan kadar bioethanol hasil fermentasi larutan anolit pada sistem MFC dari *E. cottonii* dan kulit ubi kayu. Penelitian ini menggunakan model *dual-chamber* MFC yang terdiri dari ruang anoda, katoda yang dihubungkan melalui *proton exchange membrane* (PEM). Hasil penelitian menunjukkan nilai arus maksimum, tegangan maksimum dan densitas daya menggunakan substrat kulit ubi kayu dengan penambahan larutan elektrolit KMnO_4 0,2 M dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M berturut-turut sebesar 5,63 mA; 750 mV; 21515,92 mW/cm²; 1,64 mA; 340 mV; 2841,27 mW/cm² lebih besar dari substrat *E. cottonii* dengan penambahan larutan elektrolit KMnO_4 0,2 M dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M berturut-turut sebesar 0,52 mA; 690 mV; 1828,28 mW/cm²; 0,50 mA; 340 mV; 866,24 mW/cm². Kadar bioethanol yang diperoleh dari susbtrat *E. cottonii* dan kulit ubi kayu masing-masing sebesar 16,90% dan 40,35%. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan energi listrik dan kadar bioethanol tertinggi diperoleh dengan menggunakan substrat kulit ubi kayu.

Kata kunci: *Microbial Fuel Cell* (MFC), energi listrik, bioetanol, *E. cottonii*, kulit ubi kayu

ABSTRACT

ADE RAHMAWATI IDRIS. **Production of Electrical Energy and Bioethanol from Microbial Fuel Cell System using *Saccharomyces cerevisiae* with Red Algae (*Eucheuma cottonii*) and Cassava Peel (*Manihot utilissima*) Substrate Source** (guided by Ahyar Ahmad and Abdul Karim)

The continuous use of oil and gas fuels cause a global energy crisis and environmental pollution, so it is necessary to use renewable energy source which environmentally friendly. Microbial fuel cell (MFC) is a technology that can generate electricity by converting chemical energy into electrical energy using microorganisms as a catalyst. The aim of this research are to determine the effect of different substrates with the addition of electrolyte solution on current, voltage and power density in MFC system also analyze the potential and percentage of bioethanol from anolyte solution of MFC from *E. cottonii* and cassava peel. This research used dual-chamber MFC model consist of anode, cathode chamber linked through a proton exchange membrane (PEM). The result of this research shows a maximum value of current, voltage and power density using cassava peel substrate with addition of electrolyte solution KMnO_4 0,2 M and $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M respectively are 5,63 mA; 750 mV; 21515,92 mW/cm²; 1,64 mA; 340 mV; 2841,27 mW/cm² higher than the *E. cottonii* substrate with addition of electrolyte solution KMnO_4 0,2 M and $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M respectively 0,52 mA; 690 mV; 1828,28 mW/cm²; 0,50 mA; 340 mV; 866,24 mW/cm². The percentage of bioethanol obtained from *E. cottonii* and cassava peel respectively are 16,90% and 40,35%. Based on the results of this research conducted the highest electrical energy and bioethanol was obtained by using cassava peel as a substrate.

Keywords: Microbial Fuel Cell (MFC), electrical energy, bioethanol, *E. cottonii*, cassava peel

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERTANYAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN.....	xix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC).....	6
2.2 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	8
2.3 Larutan Elektrolit	10
2.4 Bioetanol	11
2.5 Alga Merah (<i>Eucheuma cottonii</i>)	14

2.6 Selulosa.....	16
2.7 Kulit Ubi Kayu (<i>Manihot utilissima</i>).....	17
2.8 Pati	18
2.9 Kerangka pikir	19
2.10 Hipotesis	21
BAB III. METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.1.1 Waktu Penelitian	22
3.1.2 Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	23
3.3 Prosedur Kerja	23
3.3.1 Konstruksi MFC.....	23
3.3.2 Preparasi Membran Penukar Proton	23
3.3.3 Preparasi Elektroda Grafit.....	24
3.3.4 Pembuatan Larutan DNS.....	24
3.3.5 Pembuatan Larutan Standar Glukosa	24
3.3.6 Pembuatan Kurva Standar Glukosa	24
3.3.7 Preparasi Larutan Metilen Biru	25
3.3.8 Preparasi Substrat <i>E. cottonii</i>	25
3.3.9 Penentuan Kandungan ADF, NDF, Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa pada Serbuk <i>E. cottonii</i>	25
3.3.10 Hidrolisis Selulosa.....	26
3.3.11 Ekstraksi Pati Kulit Ubi Kayu	27

3.3.12 Penentuan Kadar Pati pada Serbuk Kulit Ubi Kayu (Metode <i>Luff Schoorl</i>)	27
3.3.13 Hidrolisis Pati.....	29
3.3.14 Pengukuran Gula Reduksi Hasil Hidrolisis <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu.....	29
3.3.15 Pengukuran Kurva Pertumbuhan <i>S. cerevisiae</i>	29
3.3.16 Pengukuran Gula Reduksi.....	30
3.3.17 Eksperimen MFC	30
3.3.18 Proses Destilasi	31
3.3.19 Metode Analisis Data	31
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu dalam Sistem MFC	33
4.2 Kurva Pertumbuhan <i>S. cerevisiae</i> dengan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu	37
4.3 Produksi Energi Listrik Pada Sistem MFC	40
4.3.1 Pengaruh Perbedaan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu terhadap Nilai Arus dan Tegangan dengan Penambahan Larutan KMnO_4 0,2 M.....	40
4.3.2 Pengaruh Perbedaan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu terhadap Nilai Arus dan Tegangan dengan Penambahan Larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M	44
4.3.3 Densitas Daya	47
4.3.4 Produksi dan Analisis Bioetanol dari Sistem MFC	48
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51

5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1. Komposisi kimia kulit ubi kayu	18
2. Pelaksanaan percobaan pengukuran listrik	31
3. Kandungan ADF, NDF, lignin, abu tak larut, selulosa dan hemiselulosa pada <i>E. cottonii</i>	33
4. Gugus fungsi FTIR selulosa standar dan serbuk <i>E. cottonii</i>	35
5. Gugus fungsi FTIR pati standar dan pati kulit ubi kayu	36
6. Kadar glukosa serbuk <i>E. cottonii</i> dan kulit ubi kayu hasil hidrolisis	37
7. Data indeks bias dan kadar bioetanol larutan anolit dari sistem MFC	50

DAFTAR GAMBAR

nomor	halaman
1. Skema MFC	6
2. Mekanisme Transfer Elektron.....	7
3. <i>S. cerevisiae</i>	8
4. Kurva Pertumbuhan <i>S. cerevisiae</i>	9
5. Proses Fermentasi Alkohol.....	13
6. Morfologi Alga Laut.....	14
7. <i>E. cottonii</i>	15
8. Struktur Selulosa.....	16
9. Reaksi Hidrolisis oleh Asam	16
10. Kulit Ubi Kayu.....	17
11. Struktur Amilosa.....	18
12. Struktur Amilopektin.....	19
13. Kerangka Pikir.....	20
14. Spektrum FTIR Selulosa Standar dan Serbuk <i>E. cottonii</i>	34
15. Spektrum FTIR Pati Standar dan Pati Kulit Ubi Kayu	36
16. Kurva Pertumbuhan <i>S. cerevisiae</i> menggunakan Sumber Subtrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu pada Panjang Gelombang 600 nm	38
17. Kadar Gula Pereduksi pada Fase Eksponensial dengan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu dengan Panjang Gelombang 540 nm	39
18. Pengaruh Perbedaan Sumber Susbtrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu terhadap Arus dengan Penambahan	

Larutan Elektrolit KMnO_4 0,2 M	41
19. Pengaruh Perbedaan Sumber Susbrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu terhadap Nilai Tegangan dengan Penambahan Larutan Elektrolit KMnO_4 0,2 M.....	43
20. Pengaruh Perbedaan Sumber Susbrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu terhadap Arus dengan Penambahan Larutan Elektrolit $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M	45
21. Pengaruh Perbedaan Sumber Susbrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu terhadap Nilai Tegangan dengan Penambahan Larutan Elektrolit $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M	46
22. Perbandingan Nilai Densitas Daya menggunakan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu dengan dan tanpa Penambahan Larutan Elektrolit	47
23. Kromatogram GC-MS Larutan Anolit dari Sistem MFC yang menggunakan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i>	49
24. Kromatogram GC-MS Larutan Anolit dari Sistem MFC yang menggunakan Sumber Substrat Kulit Ubi Kayu.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

nomor	halaman
1. Alur Penelitian	66
2. Konstruksi MFC.....	67
3. Preparasi Membran Penukar Proton	67
4. Preparasi Elektroda Grafit	68
5. Pembuatan Larutan DNS.....	68
6. Pembuatan Larutan Standar Glukosa	68
7. Pembuatan Kurva Standar Glukosa	69
8. Pembuatan Larutan MB 5000 ppm.....	69
9. Preparasi Substrat <i>E. cottonii</i>	69
10. Penentuan Kandungan ADF, NDF, Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa pada serbuk <i>E. cottonii</i>	70
11. Hidrolisis Selulosa.....	72
12. Ekstraksi Pati Kulit Ubi Kayu	73
13. Penentuan Kandungan Pati pada Serbuk Kulit Ubi Kayu (Metode <i>Luff Schoorl</i>)	74
14. Hidrolisis Pati	77
15. Penentuan Gula Reduksi Hasil Hidrolisis <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu.....	77
16. Pengukuran Kurva Pertumbuhan <i>S. cerevisiae</i>	78
17. Pengukuran Gula Reduksi Sampel MFC	78
18. Eksperimen MFC	79
19. Proses Destilasi	80
20. Pengolahan Analisis Data.....	81

21. Penentuan Kandungan ADF, NDF, Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa pada Serbuk <i>E. cottonii</i>	81
22. Penentuan Kadar Pati pada Serbuk Kulit Ubi Kayu (Metode <i>Luff Schoorl</i>)	84
23. Kurva Standar Glukosa pada λ 540 nm	86
24. Penentuan Kadar Glukosa pada Sampel MFC dari <i>E. cottonii</i> pada λ 540 nm	87
25. Penentuan Kadar Glukosa pada Sampel MFC dari Kulit Ubi Kayu pada λ 540 nm.....	89
26. Data Hasil Pengukuran Kurva Pertumbuhan dari <i>S. cerevisiae</i> dengan Substrat <i>E. cottonii</i> pada λ 600	91
27. Data Hasil Pengukuran Kurva Pertumbuhan dari <i>S. cerevisiae</i> dengan Substrat Kulit Ubi Kayu pada λ 600 nm	92
28. Data Hasil Pengukuran Arus Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu Tanpa Penambahan Elektrolit	93
29. Data Hasil Pengukuran Tegangan Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu Tanpa Penambahan Elektrolit	94
30. Data Hasil Pengukuran Arus Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu Kombinasi Larutan Elektrolit KMnO_4 0,2 M.....	95
31. Data Hasil Pengukuran Tegangan Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu Kombinasi Larutan Elektrolit KMnO_4 0,2 M.....	96
32. Data Hasil Pengukuran Arus Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu Kombinasi Larutan Elektrolit $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M...	97
33. Data Hasil Pengukuran Tegangan Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu Kombinasi Larutan Elektrolit $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,2 M...	98

34. Perhitungan Densitas Daya	99
35. Data Hasil Analisis Fermentasi 6 Hari Larutan Anolit pada Sistem MFC menggunakan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> setelah Destilasi dengan Alat GC-MS	102
36. Data Hasil Analisis Fermentasi 6 Hari Larutan Anolit pada Sistem MFC menggunakan Sumber Substrat Kulit Ubi Kayu setelah Destilasi dengan Alat GC-MS	102
37. Data Pengukuran Larutan Standar Bioetanol menggunakan Refraktometer	103
38. Data Perhitungan Konsentrasi Bioetanol Larutan Anolit dari Sistem MFC menggunakan Sumber Substrat <i>E. cottonii</i> dan Kulit Ubi Kayu setelah Destilasi menggunakan Refraktometer .	104
39. Dokumentas	105
40. Hasil Analisis Kadar Sampel.....	108
41. Hasil Analisis FTIR.....	110
42. Hasil Analisis Bioetanol Menggunakan GC-MS	112

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan penjelasan
ADF	<i>Acid Detergent Fiber</i>
ATP	<i>Adenosin triphosphate</i>
DNS	<i>Dinitro salicylic acid</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infra Red</i>
GC-MS	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>
MB	Metilen Biru
MFC	<i>Microbial Fuel Cell</i>
NAD ⁺	<i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide</i>
NADH	<i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide Hydrogen</i>
NDF	<i>Neutral Detergent Fiber</i>
NDS	<i>Neutral Detergent Solution</i>
OD	<i>Optical Density</i>
PEM	<i>Proton Exchange Membrane</i>
pH	Derajat Keasaman
UV-Vis	<i>Ultraviolet-visible</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan dasar dalam kehidupan manusia sehari-hari. Energi listrik digunakan untuk mengoperasikan alat-alat elektronik seperti telfon genggam, televisi, kipas angin dan lain-lain (Agung, 2013). Sumber energi listrik yang digunakan selama ini untuk memenuhi kebutuhan manusia berasal dari bahan bakar *fossil* yang tidak dapat diperbaharui atau *non-renewable energy source* (Kholiq, 2015). Penggunaan bahan bakar fossil secara terus-menerus dapat menimbulkan polusi gas rumah kaca, menipisnya cadangan minyak bumi dan krisis energi listrik (Sulistiyawati dkk., 2020). Salah satu cara untuk menanggulangi krisis energi listrik adalah menggunakan sumber energi alternatif dan terbarukan (Parkash, 2016; Javad dkk., 2016). Energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat diperoleh secara terus-menerus seperti energi matahari, energi angin, bioenergi, dan lain-lain (Mane, 2018). Beberapa tahun terakhir, teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai energi alternatif mendapat banyak perhatian karena kemampuannya dalam dekomposisi material organik dan menghasilkan energi listrik (Prabowo dkk., 2016). Selain menghasilkan energi listrik, teknologi MFC memiliki keunggulan yaitu bersifat ramah lingkungan, mudah digunakan (Syarifuddin dan Firnanda, 2018) dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan (Hermayanti dan Nugraha, 2014).

Teknologi MFC dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik dengan bantuan mikroorganisme sebagai katalis untuk mengoksidasi senyawa organik dalam metabolismenya (Sitorus, 2010). Proses metabolisme dalam kompartemen anoda dapat berlangsung secara anaerobik atau aerobik (Du dkk., 2007; Ibrahim dkk., 2017). Prinsip kerja MFC berdasarkan reaktor sel elektroda, yaitu terdapat kompartemen anoda dan katoda yang dipisahkan oleh jembatan garam atau membran transfer proton, masing-masing kompartemen diberikan elektroda yang berfungsi sebagai donor atau aseptor elektron bagi mikroorganisme (Putra dkk., 2018). Pada kompartemen anoda terjadi metabolisme

karbohidrat yang menghasilkan ion elektron dan proton. Elektron ini ditransfer dari kompartemen anoda ke kompartemen katoda melalui sirkuit eksternal sedangkan proton ditransfer melalui jembatan garam atau membran transfer proton (Mathuriya dan Sharma, 2010).

Produksi energi listrik pada sistem MFC dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme, substrat, penambahan mediator dan penambahan larutan elektrolit pada kompartemen katoda (Shanmuganathan dan Rajasulochana, 2018). Substrat yang dapat digunakan dalam sistem MFC yaitu biomassa yang mengandung glukosa, selulosa, maltosa, sukrosa dan pati (Ren dkk., 2007; Khater dkk., 2015; Herrero dkk., 2013). Substrat pada sistem MFC dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk kebutuhan nutrisi mikroorganisme dalam proses metabolismenya (Wahyuni dkk., 2022). Beberapa penelitian sebelumnya, mikroorganisme yang digunakan dalam sistem MFC seperti bakteri *Bacillus Subtilis* (Prayogo dkk., 2017), *Lactobaccillus bulgarius* (Muftiana dkk., 2015) *Pseudomonas Sp.* (Heriyono, 2019) dan khamir seperti *Saccharomyces cerevisiae* (Yuan dkk., 2020). *Saccharomyces cerevisiae* merupakan salah satu mikroorganisme yang ideal untuk produksi etanol, karena menghasilkan enzim *invertase* yang berfungsi mengubah sukrosa menjadi glukosa, enzim *zymase* yang berfungsi mengubah glukosa menjadi etanol (Nasrun dkk., 2015) dan enzim *maltase* yang berfungsi mengubah maltosa menjadi glukosa (Mihailovic dkk., 2016).

Kesesuaian antara penggunaan mikroba dan substrat tertentu mempengaruhi besarnya energi listrik yang dihasilkan pada sistem MFC (Burhanuddin dkk., 2020). Berdasarkan hasil penelitian Sinaga dkk. (2014) menggunakan dua jenis substrat yaitu *whey tahu* dan glukosa dengan bantuan mikroorganisme *S. cerevisiae* menghasilkan beda potensial berturut-turut sebesar 40,67 mV dan 300 mV. Beda potensial yang tinggi diperoleh pada substrat glukosa, karena pada *S. cerevisiae* terdapat enzim *zimase* yang dapat mengubah glukosa menjadi etanol sedangkan substrat *whey tahu* terdiri dari golongan oligosakarida sehingga membutuhkan enzim α -galaktosidase untuk memecah molekul stakiosa dan rafinosa menjadi bentuk yang sederhana yaitu glukosa, fruktosa dan galaktosa (Ismawati dkk., 2015). Enzim α -galaktosidase tidak terdapat dalam *S. cerevisiae*, sehingga beda potensial yang diperoleh pada substrat *whey tahu* lebih kecil dibandingkan dengan substrat glukosa.

Penambahan mediator pada sistem MFC, dapat meningkatkan energi listrik yang diperoleh. Hasil penelitian Permana dkk. (2015), dengan penambahan metilen biru menghasilkan arus listrik $5,5 \times 10^{-5}$ A, beda potensial 0,886 V dan densitas daya $4,48 \times 10^{-3}$ W/m³, sedangkan tanpa penambahan metilen biru menghasilkan arus 5×10^{-5} A, beda potensial 0,689 V dan densitas daya $2,12 \times 10^{-3}$ W/m³. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, pada sistem MFC dengan penambahan mediator MB menghasilkan energi listrik lebih besar dibandingkan dengan sistem MFC tanpa penambahan mediator MB.

Penelitian sebelumnya dengan menambahkan larutan elektrolit dalam sistem MFC dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan. Larutan elektrolit digunakan sebagai akseptor elektron pada kompartemen katoda dalam sistem MFC (Yuan dkk. 2020). Hasil penelitian Heriyono (2019) memanfaatkan selulosa dari enceng gondok sebagai substrat dan *Pseudomonas Sp.* sebagai mikroorganisme pada sistem MFC tanpa penambahan larutan elektrolit menghasilkan nilai arus dan beda potensial maksimum yaitu sebesar 0,11 mA dan 0,27 mV sedangkan dengan penambahan larutan elektrolit KMnO₄ 0,2 M menghasilkan nilai arus dan beda potensial maksimum yaitu sebesar 3,06 mA dan 0,86 V. Penelitian ini menggunakan larutan elektrolit KMnO₄ 0,2 M dan K₃[Fe(CN)₆] 0,2 M sebagai aseptor elektron pada kompartemen katoda. Berdasarkan hasil penelitian Muftiana dkk. (2015) dengan memanfaatkan substrat limbah air tahu serta mikroorganisme *L. bulgarius* menghasilkan potensial listrik dengan penambahan larutan elektrolit KMnO₄ 0,2 M dan K₃Fe(CN)₆ 0,2 M berturut-turut sebesar 99,2 mV dan 48,6 mV.

Selain menghasilkan energi listrik, bioreaktor ini juga menghasilkan bioetanol dari hasil fermentasi larutan anolit pada sistem MFC (Yuan dkk., 2020; Permana dkk., 2015). Bioetanol adalah hasil dari proses fermentasi karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme yang dilakukan dalam keadaan anaerob (Sukaryo dkk., 2013). Bioetanol dapat diproduksi dari biomassa yang mengandung gula. Berdasarkan hasil penelitian Yuan dkk. (2020) dengan memanfaatkan teknologi MFC untuk menghasilkan energi listrik dan bioetanol, pada hasil penelitiannya memperoleh densitas daya sebesar $5,2 \pm 0,5$ W/m³ dan etanol yang tinggi $92,5 \pm 2\%$.

Eucheuma cottonii dan kulit ubi kayu dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam sistem MFC. *Eucheuma cottonii* banyak dibudidayakan di Sulawesi Selatan

yang mengandung karbohidrat sebanyak 32,47% (Yulisti dkk., 2012; Nosa dkk., 2020), sedangkan kulit ubi kayu merupakan salah satu limbah yang mengandung karbohidrat sebanyak 64,6%, sehingga kedua sumber substrat dapat digunakan sebagai sumber energi dalam sistem MFC (Resimanuk dkk., 2018). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dompeipen dan Dewa (2015), bahwa sampel *E. cottonii* mengandung selulosa sebanyak 11,11% dan hasil penelitian yang dilakukan Dewi dkk. (2015) yaitu tiap 1 kg kulit ubi kayu diperoleh 9% pati. Kandungan selulosa dan pati yang terdapat dari kedua substrat tersebut berpotensi sebagai sumber glukosa dalam fermentasi pada sistem MFC.

Berdasarkan uraian diatas, maka telah dilakukan penelitian mengenai produksi energi listrik dan bioetanol dari sistem *Microbial Fuel Cell* menggunakan *S. cerevisiae* dengan sumber substrat alga merah (*E. cottonii*) dan kulit ubi kayu (*Manihot utilissima*).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 bagaimana pengaruh perbedaan sumber substrat dengan penambahan larutan elektrolit KMnO_4 dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ terhadap arus, tegangan dan densitas daya pada sistem MFC?
- 1.2.2 berapa kadar bioetanol hasil fermentasi larutan anolit menggunakan sumber substrat *Eucheuma cottonii* dan kulit ubi kayu pada sistem MFC?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.3.1 menganalisis pengaruh perbedaan sumber substrat dengan penambahan larutan elektrolit KMnO_4 dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ terhadap arus, tegangan dan densitas daya pada sistem MFC.
- 1.3.2 menentukan kadar bioetanol hasil fermentasi larutan anolit menggunakan sumber substrat *Eucheuma cottonii* dan kulit ubi kayu pada sistem MFC.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

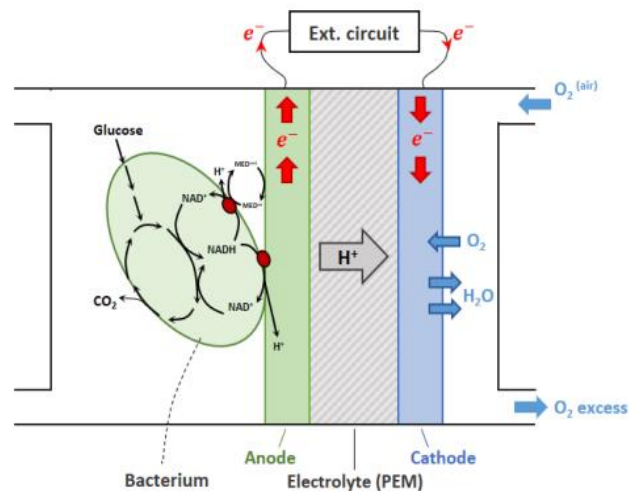
- 1.4.1 memberikan informasi bahwa penggunaan sumber substrat yang berbeda dengan penambahan larutan elektrolit KMnO_4 dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ pada sistem MFC dapat menghasilkan nilai arus, tegangan dan densitas daya yang berbeda.
- 1.4.2 memberikan informasi kadar bioetanol hasil fermentasi larutan anolit menggunakan sumber substrat *Eucheuma cottonii* dan kulit ubi kayu pada sistem MFC.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Microbial Fuel Cell (MFC)*

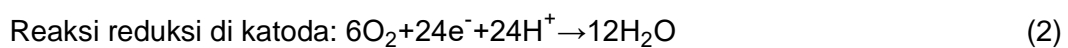
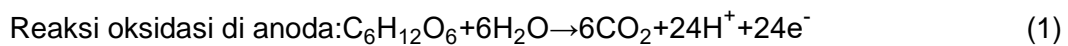
Microbial Fuel Cell (MFC) adalah teknologi yang dapat mengubah energi kimia yang ada dalam substrat senyawa organik atau anorganik menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik mikroorganisme (Ibrahim dkk., 2014; Tekle dan Demeke, 2015). Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis substrat, bahan dari elektroda yang digunakan, konfigurasi reaktor, waktu operasi, volume reaktor, jenis larutan elektrolit, mediator dan jenis membran yang digunakan (Li dan Chen, 2018; Arbianti, dkk., 2013; Yuan, dkk., 2020). Skema MFC ditunjukkan pada Gambar 1.



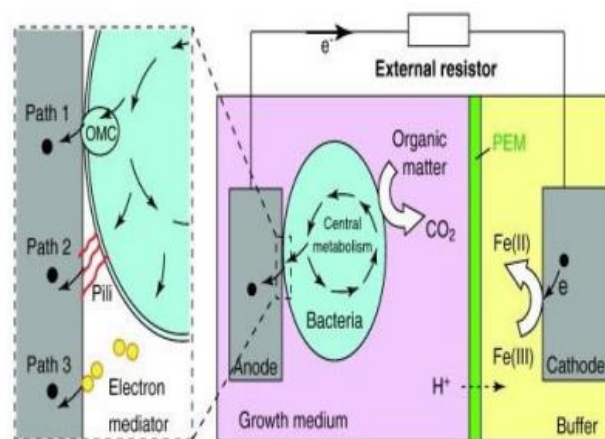
Gambar 1. Skema MFC (Pinto, 2016)

Teknologi MFC memiliki dua kompartemen yaitu kompartemen anoda dan kompartemen katoda yang dipisahkan oleh jembatan garam atau membran transfer proton (Shukla dkk., 2004). Kompartemen anoda terdiri atas mikroorganisme, substrat, elektroda dan mediator (Kalia dan Kumar, 2017). Mikroorganisme mengoksidasi substrat pada kompartemen anoda untuk menghasilkan elektron (e^-), proton (H^+) dan karbon dioksida (CO_2) (Rahimnejad dkk., 2015). Elektron yang dihasilkan pada kompartemen anoda mengalir ke

kompartemen katoda melalui rangkaian eksternal, sedangkan proton yang dihasilkan dari kompartemen anoda berpindah ke kompartemen katoda dengan melintasi jembatan garam atau membran transfer proton untuk bergabung dengan elektron yang akan membentuk air jika oksigen disediakan, kemudian aliran elektron tersebut dari kompartemen anoda menuju ke katoda yang akan menghasilkan arus listrik (Parkash, 2016). Menurut Fadzli dkk. (2021) reaksi yang terjadi sebagai berikut:



(Fadzli dkk., 2021).



Gambar 2. Mekanisme Transfer Elektron (Rahimnejad dkk., 2014)

Gambar 2 menunjukkan mekanisme transfer elektron pada kompartemen. Mikroorganisme sebagai katalis mengoksidasi bahan organik atau anorganik dan menghasilkan elektron di pusat metabolisme (Rahimnejad dkk., 2014). Beberapa elektron yang dihasilkan ditransfer secara ekstraseluler ke elektroda anoda melalui jalur yang berbeda, terdapat tiga jalur yaitu jalur pertama melalui CMC (*c-type cytochrome*), jalur kedua melalui pili dan jalur ketiga melalui *mediator electron transfer* atau MET (Mekuto dkk., 2020; Nawaz dkk., 2020; Qian dan Morse, 2011). Transfer elektron menggunakan mediator dapat dilakukan dengan penambahan mediator seperti *methylen blue* dan *neutral red* (Schroder, 2007; Chhazed dkk., 2019).

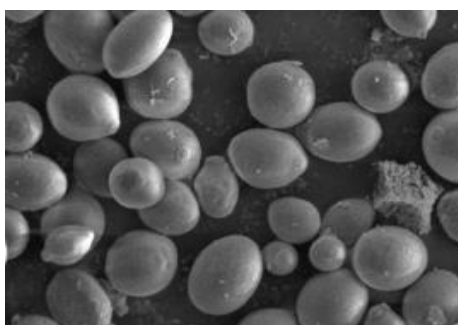
Sistem *dual-chamber* MFC, membutuhkan membran transfer proton atau PEM untuk memfasilitasi transfer proton dari kompartemen anoda ke kompartemen katoda (Flimban dkk., 2019). Jenis membran yang biasa

digunakan yaitu Nafion dan Ultrex CMI-7000, dikarenakan kestabilan mekanis dan konduktivitas proton yang tinggi serta termal dari membran tersebut (Behera dkk, 2010). Berdasarkan hasil penelitian oleh Elanthamilan dkk. (2014) membandingkan penggunaan jembatan garam dengan PEM Nafion menunjukkan bahwa penggunaan PEM Nafion dapat meningkatkan tegangan yang dihasilkan, yang menggunakan PEM Nafion menghasilkan tegangan sebesar 0,50 V sedangkan yang menggunakan *salt bridge* menghasilkan tegangan sebesar 0,22 V. Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya dengan penggunaan PEM Nafion dapat memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan.

2.2 *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae adalah jamur yang termasuk golongan khamir, biasanya dimanfaatkan untuk pembuatan makanan seiring jalannya waktu mulai digunakan untuk keperluan bioteknologi seperti pembuatan etanol (Ahmad, 2005). Termasuk ragi etanologenik yang dapat memfermentasi glukosa, fruktosa, galaktosa, manosa, sukrosa, maltosa dan maltotriosa menjadi etanol dan CO₂ (Walker dan Stewart, 2016). Bentuk *S. cerevisiae* ditunjukkan pada Gambar 3. Menurut Dwidjoseputro (2005) klasifikasi dari *S. cerevisiae* adalah sebagai berikut:

kingdom : Fungi
filum : Ascomycota
kelas : Saccharomyces
ordo : Endomycetales
famili : *Saccharomycesfaceae*
spesies : *Saccharomyces cerevisiae*

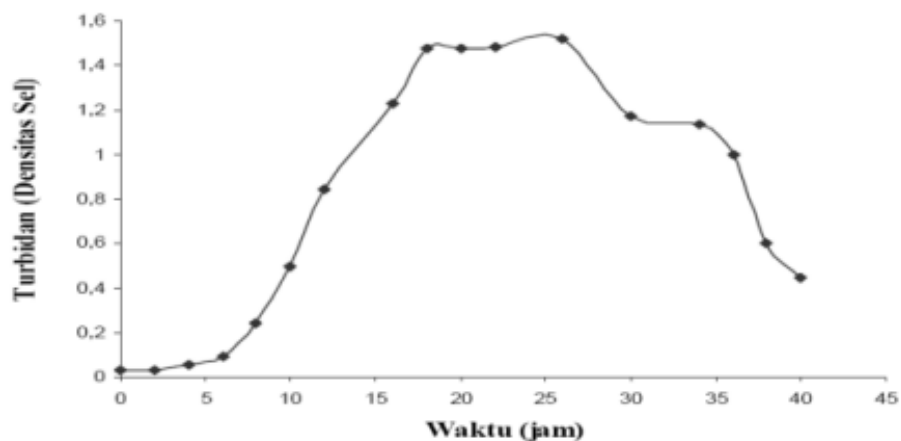


Gambar 3. *S. cerevisiae* (Karimy dkk., 2019)

Menurut Netser dkk. (2001) terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dari *S. cerevisiae* sebagai berikut:

1. suhu optimum perkembangbiakan *S. cerevisiae* yaitu 30°C.
2. fermentasi alkoholis *S. cerevisiae* memerlukan kondisi media pertumbuhan pada kisaran pH 4-5.
3. beberapa jenis nutrisi yang dibutuhkan yaitu nitrogen yang berfungsi untuk sintesis protein yang didapatkan dari ion ammonium, sedangkan beberapa dapat menggunakan pepton, ZA, urea dan lain-lain.
4. fermentasi alkohol berlangsung secara anaerob.

Kurniawan, dkk. (2014) menyatakan bahwa *S. cerevisiae* menghasilkan enzim *invertase*, *maltase* dan *zimase*. Fungsi enzim *invertase* mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, fungsi enzim *maltase* mengubah maltosa menjadi glukosa dan enzim *zimase* mengubah glukosa menjadi etanol dan CO₂ (Shankar, 2017). Pada saat *S. cerevisiae* dimasukkan ke dalam media inokulum sel melakukan penyesuaian diri sehingga tidak langsung berkembang biak (Sibirian dkk., 2015). Menurut Utomo (2011) kurva pertumbuhan *S. cerevisiae* ditunjukkan pada Gambar 4:



Gambar 4. Kurva Pertumbuhan *S. cerevisiae* (Utomo, 2011)

Menurut Willey dkk. (2008) dan Talaro (2008), secara umum kurva pertumbuhan *S. cerevisiae* meliputi beberapa fase yaitu:

1. fase lag

Pada fase ini mikroba menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan baru. Berbagai macam enzim dan zat perantara dibentuk sehingga keadaan dari yeast ini memungkinkan pertumbuhan sel berlanjut.

2. fase eksponensial

Pada fase ini mikroba menggandakan diri atau memperbanyak dengan kecepatan yang paling tinggi dengan waktu generasi pendek serta konstan. Pada fase ini metabolisme yang terjadi paling pesat sehingga sintesis bahan sel berlangsung dengan cepat. Keadaannya ini berlangsung terus menerus hingga salah satu atau beberapa nutrisi telah habis atau telah terjadi penimbunan metabolit yang bersifat racun sehingga pertumbuhan terhambat.

3. fase stasioner

Pada fase ini kemampuan untuk menggandakan diri berkurang dan jumlah sel mati bertambah, oleh karena adanya penurunan kadar nutrisi dan meningkatnya penimbunan zat-zat racun yang menghambat kecepatan oleh pembelahan sel. Pada fase stasioner jumlah sel yang mati sama dengan jumlah sel yang dihasilkan.

4. fase kematian

Pada fase ini kecepatan kematian terus meningkat oleh karena itu jumlah sel akan menurun dengan cepat atau drastis.

Berdasarkan hasil penelitian Putra dkk. (2018) yang memanfaatkan *S. cerevisiae* sebagai mikroba dan glukosa sebagai substrat pada sistem MFC dapat menghasilkan *power density* sebesar 7,3 mW/m², penggunaan *S. cerevisiae* sebagai mikroba dapat meningkatkan nilai densitas daya pada sistem MFC.

2.3 Larutan Elektrolit

Penggunaan larutan elektrolit pada kompartemen katoda dapat mempengaruhi produksi energi listrik yang dihasilkan dari MFC, karena MFC merupakan sistem bioelektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang melibatkan reaksi redoks yakni memanfaatkan mikroba (Putra dkk., 2014), sehingga pada kompartemen katoda diperlukan oksidator sebagai penangkap elektron dari kompartemen anoda (Muftiana dkk., 2018). Beberapa jenis larutan elektrolit yang digunakan dalam kompartemen katoda di sistem MFC yaitu KMnO₄ dan K₃[Fe(CN)₆] (Jia dkk., 2014).

Larutan elektrolit KMnO₄ memiliki potensial reduksi standar yaitu 1,70 V, sehingga baik digunakan sebagai oksidator dan sekaligus akseptor pada sistem MFC (Muftiana dkk., 2018). Ion permanganate

digunakan sebagai aseptor elektron karena memiliki kapasitas oksidasi yang tinggi dan ramah lingkungan (Putra dkk., 2018). Larutan elektrolit $K_3Fe(CN)_6$ memiliki potensial reduksi standar yaitu 0,43 V (Utami dkk., 2014). Ion ferricyanide menghasilkan tidak hanya laju reaksi yang lebih cepat tetapi juga keluaran daya yang jauh lebih tinggi (Rabaey dkk., 2010; Schroder dkk., 2003; Aelterman dkk., 2006). Potensial reduksi dari kedua larutan elektrolit tersebut ditunjukkan pada persamaan 3 dan 4:



2.4 Bioetanol

Bioetanol dengan rumus molekul C_2H_5OH (Kalsum dan Juniar, 2017) merupakan bahan bakar yang dapat diproduksi dari substrat yang mengandung gula, pati, dan lignoselulosa (Busic dkk., 2018). Mikroorganisme yang baik digunakan untuk pembuatan etanol salah satunya merupakan ragi dari *S. cerevisiae* (Alia dkk., 2019). Produksi bioetanol dapat dilakukan dengan tiga tahap yaitu hidrolisis, fermentasi kemudian destilasi (Swiatek dan Slawik, 2010). Terdapat dua jenis hidrolisis yaitu hidrolisis secara enzimatik dan menggunakan larutan asam (Rahmawati dan Sutrisno, 2015), selanjutnya proses fermentasi dengan bantuan bakteri *S. cerevisiae* (Martinez dkk., 2018), kemudian didestilasi (Miskat dkk., 2020), terdapat beberapa teknik destilasi yang dapat digunakan yaitu destilasi sederhana (Arimba dkk., 2019), destilasi bertingkat (Batutah, 2017).

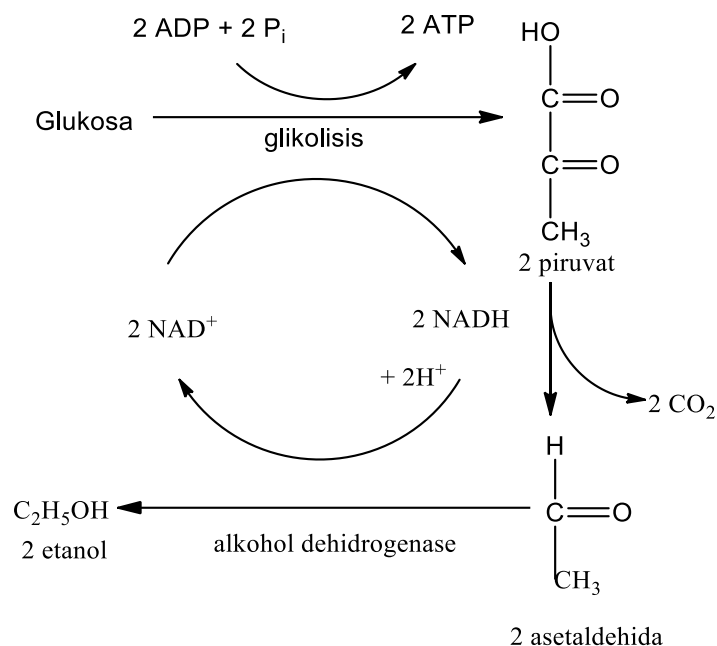
Tahap hidrolisis adalah polisakarida atau oligosakarida diubah menjadi gula sederhana yaitu monosakarida (Aniriani dkk., 2018). Hidrolisis pada penelitian ini digunakan hidrolisis dengan larutan asam. Terdapat dua jenis larutan asam yang sering digunakan pada proses hidrolisis seperti HCl dan H_2SO_4 . Berdasarkan penelitian oleh Lisin (2015) bahwa penggunaan asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi tinggi dapat menghasilkan kadar glukosa yang tinggi, pada penelitian ini konsentrasi asam sulfat yang menghasilkan kadar glukosa tertinggi yaitu dengan konsentrasi 2,5 M (Mardina, 2014). Mastuti dkk. (2013) memanfaatkan larutan HCl dalam hidrolisis pati, konsentrasi asam klorida yang menghasilkan kadar glukosa tertinggi yaitu pada konsentrasi 0,2 N.

Tahap fermentasi merupakan tahap perubahan struktur kimia yang berasal dari bahan organik dengan menggunakan enzim sebagai biokatalis. Tahap ini agar produk yang dihasilkan optimal diperlukan keadaan lingkungan, substrat dan perlakuan yang sesuai. Pada proses fermentasi bioetanol diperlukan bantuan mikroba yang nantinya menghasilkan enzim yang akan mengubah gula sederhana ($C_6H_{12}O_6$) menjadi bioetanol (C_2H_5OH) dan karbondioksida (CO_2), sehingga untuk bahan yang mengandung gula dalam bentuk polisakarida atau oligosakarida terlebih dahulu diubah menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu monosakarida (glukosa dan fruktosa). Reaksi fermentasi yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Saccharomyces cerevisiae dapat memecah monosakarida (glukosa) menjadi etanol (Moede dkk., 2017). Proses pemecahan glukosa menjadi etanol dan CO_2 oleh *S. cerevisiae* melalui proses glikolisis (Putri dkk., 2016). Glikolisis adalah reaksi kimia penguraian glukosa menjadi asam piruvat, NADH dan ATP. *Nicotinamide adenine dinucleotide* adalah koenzim yang mengikat elektron, sehingga disebut elektron berenergi tinggi. ATP merupakan senyawa berenergi tinggi. Setiap pelepasan fosfatnya menghasilkan energi. Proses glikolisis, setiap 1 molekul glukosa diubah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH dan 2 ATP. Tahap selanjutnya yaitu fermentasi alkohol, piruvat tersebut diubah menjadi alkohol melalui dua tahap yaitu pertama, piruvat didekarboksilasi menjadi asetaldehid oleh piruvat dekarboksilase dengan melibatkan tiamin pirofosfat dan tahap kedua asetaldehid oleh alkohol dehidrogenase direduksi dengan $NADH_2$ menjadi alkohol (Martoharsono, 1986).

Gambar 5 menunjukkan bahwa dalam proses fermentasi glukosa menjadi etanol dihasilkan juga gas CO_2 . Gas CO_2 yang dihasilkan dalam proses fermentasi ini bisa mencapai sekitar 35% volume, maka untuk menghasilkan bioetanol yang murni, maka gas tersebut perlu diuapkan (Silitonga dan Ibrahim, 2020). Proses destilasi merupakan proses pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan menguap suatu bahan, yaitu zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu (Septiany, 2013).



Gambar 5. Proses Fermentasi Alkohol (Handayani dkk., 2016)

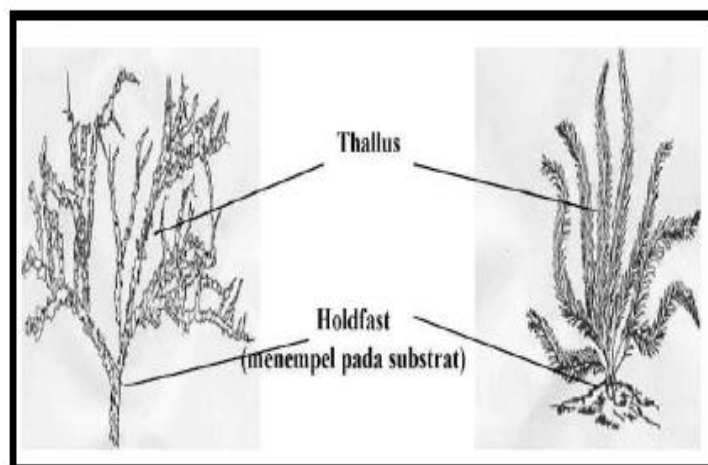
Parameter penting dalam proses fermentasi dan destilasi bioetanol, yaitu diantaranya waktu fermentasi, penggunaan enzim dan ragi yang optimal (Sutrisno dkk., 2021). Berdasarkan hasil penelitian Setiawati dkk. (2016) *Saccharomyces cerevisiae* memiliki waktu fermentasi optimal yaitu ada hari ke-6 dan ke-7 yang menghasilkan kadar bioetanol tertinggi berturut-turut sebesar 8,00% dan 8,90%. Massa ragi berpengaruh terhadap kadar bioetanol yang diperoleh, berdasarkan hasil penelitian Hanum dkk. (2013) yang melakukan variasi massa ragi dalam fermentasi bioetanol diperoleh kadar bioetanol tertinggi pada variasi massa ragi 6% yaitu 18,9988%, semakin meningkatnya massa ragi mempengaruhi kadar bioetanol yang diperoleh.

Bioetanol dapat diproduksi melalui oksidasi biomassa dan senyawa organik melalui ragi dan metabolisme mikroba. Keadaan anaerobik 1 mol glukosa menghasilkan 2 mol piruvat, yang kemudian diubah menjadi 2 mol asetaldehida oleh enzim piruvat dekarboksilase. Selanjutnya 2 mol etanol dibuat dari asetaldehida oleh alkohol dehidrogenase, yang merupakan NADH enzim-dependen. Reduksi NAD⁺ menjadi NADH menghasilkan dua molekul ATP, dua ion H⁺ dan dua elektron. *Nicotinamide adenine dinucleotide* merupakan siklus redoks penting yang terlibat dalam banyak reaksi metabolik. Prinsipnya, elektron yang dihasilkan dari siklus redoks NADH/NAD⁺ dapat diekstraksi dengan menggunakan

teknologi MFC. Lebih lanjut, penerapan teknologi MFC akan membantu mengatur rasio NADH/NAD⁺ untuk meningkatkan aktivitas metabolisme ragi. Selain itu, sebagian energi yang dihasilkan dan diubah menjadi panas melalui konversi mikroba biomassa dapat dipanen sebagai listrik melalui penerapan teknologi MFC dalam fermentasi etanol, yang dapat meningkatkan pemanfaatan substrat (Yuan, dkk., 2020).

2.5 Alga Merah (*Eucheuma cottonii*)

Alga terdiri atas makroalga dan mikroalga (Lestari dan Mita, 2016). Makroalga terdiri dari alga merah (*Rhodophyta*), alga hijau (*Chlorophyta*), dan alga coklat (*Phaeophyta*) dan umumnya disebut sebagai rumput laut (Ayhuan dkk., 2017). Makroalga adalah alga yang berukuran besar dengan struktur tubuh berupa *thallus* dan mempunyai pigmen klorofil (Ira dkk., 2018). Bentuk *thallus* alga bervariasi, yaitu bulat seperti tabung, pipih, bulat seperti kantung, gepeng, dan sebagainya (Sunarto, 2011). Alga tumbuh dengan mendekati dirinya pada karang, lumpur, pasir, batu, dan tumbuhan lain secara spesifik (Anggardiredja, 2006). Klasifikasi alga ditentukan berdasarkan pigmennya (Targan dkk., 2020). Gambar 6 menunjukkan bagian-bagian dari holdfast dan thallus dari alga laut.

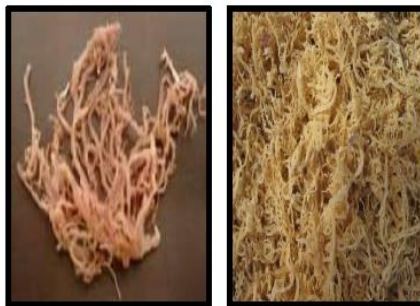


Gambar 6. Morfologi Alga Laut (Afrianto dan Liviawati, 1989)

Alga merah merupakan tumbuhan tingkat rendah yang umumnya tumbuh melekat pada substrat tertentu seperti pasir, batu, karang, lumpur, dan benda

keras lainnya (Ghazali dkk., 2018). Wara merah yang khas serta variasi warna lainnya merupakan hasil dari berbagai pigmen fotosintesis (klorofil dan karatenoid) ditambah fikobilisom (Grossman ddk., 1993). Hasil penelitian dari Indriatmoko, dkk. (2015) bahwa warna yang ditampilkan tergantung seberapa dalam alga merah tumbuh dalam air laut, karena komposisi klorofil dan karatenoid tergantung kedalam alga merah tumbuh dalam air laut.

Alga merah yang digunakan pada penelitian ini adalah spesies *E. cottonii*. Alga merah jenis *E. cottonii* ini banyak tersebar di beberapa daerah Sulawesi Selatan yaitu Takalar, Jeneponto, Bantaeng, Sinjai, dan Pangkajene Kepulauan (Anggardiredja, 2006). Jenis alga merah ini mempunyai *thallus* berbentuk bulat silindris atau gepeng, berwarna merah, merah coklat, hijau kuning memiliki benjolan, dan duri-duri atau *spines* (Cokrowati dkk., 2019). Tumbuh melekat pada karang dengan yang memiliki alat perekat seperti cakram (Atmadja dkk., 1996). Bentuk alga merah *E. cottonii* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Eucheuma Cottonii* (Anggardiredja, 2006)

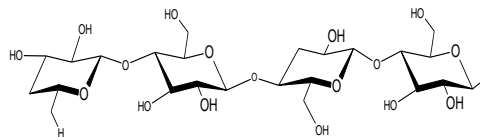
Menurut Anggardiredja (2006) taksonomi *E. cottoni*, adalah sebagai berikut:

kingdom : Plantae
 superdivisi : Spermatophyta
 divisi : Rhodophyta
 kelas : Rhodophyceae
 bangsa : Gigartinales
 suku : Solierisceae
 spesies : *Eucheuma*
 jenis : *Eucheuma cottoni*

Komposisi *E. cottonii* terdiri dari 26,5% karbohidrat, 9,8% protein, 1,1% lemak dan 46,2% abu (Matanjun dkk., 2009). Hasil uji laboratorium oleh Loupatty (2014) yaitu kadar karbohidrat yang terdapat dalam *E. cottonii* sebesar 29,04%.

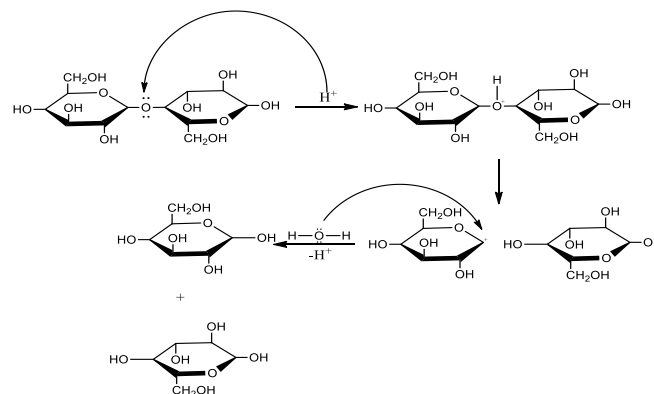
2.6 Selulosa

Selulosa merupakan polisakarida berbentuk rantai linier yang terdiri dari ratusan hingga ribuan unit D-glukosa (Gupta dkk., 2019). Selulosa memiliki kekuatan daya tahan yang tinggi terhadap zat-zat kimia serta relatif tidak larut dalam air (Kusnandar, 2010). Selulosa mengandung karbon 44,4%, hidrogen 6,2%, oksigen 49,3% (Chen, 2014). Struktur selulosa ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur Selulosa (Heinze, 2015)

Selulosa tidak dapat dicerna dalam tubuh manusia karena dalam tubuh manusia tidak terdapat enzim selulase yang dapat menguraikan selulosa menjadi gula sederhana (glukosa) (Poedjiadi, 1994). Selulosa dapat dikonversi menjadi etanol, yaitu dengan menghidrolisis selulosa menggunakan enzim selulase sebagai biokatalisator atau dengan cara hidrolisis asam (Kim dkk., 2007). Proses hidrolisis menggunakan larutan asam dipengaruhi oleh suhu, jenis asam yang digunakan, konsentrasi asam, kecepatan pengadukan, rasio bahan, dan waktu (Supranto, 1998; Dewi dkk., 2018). Reaksi hidrolisis asam sebagai berikut:



Gambar 9. Reaksi Hidrolisis oleh Asam (Balat dkk., 2008)

Gambar 9 menunjukkan bahwa hidrolisis selulosa dimulai dengan reaksi proton asam dan oksigen yang mengikat dua unit glukosa, membentuk asam terkonjugasi. Kemudian pemutusan ikatan C-O terjadi, dan karbokation siklik terbentuk. Selanjutnya, setelah penambahan air yang cepat, maka molekul gula terbentuk dan proton dilepaskan (Joksimovie dan Markovic, 2007).

2.7 Kulit Ubi Kayu (*Manihot Utilissima pohl.*)

Ubi kayu merupakan tumbuhan yang memiliki kandungan kalori lebih tinggi dibandingkan dengan padi (Bantacut, 2010). Morfologi tanaman ubi kayu bagian tubuh terdiri atas daun, bunga, batang dan umbi. Daun pada tanaman singkong termasuk kedalam jenis daun tunggal yang berbentuk jari dan memiliki tulang daun. Daun ubi kayu memiliki tangkai yang panjang dengan helaian daun yang menyerupai telapak tangan, sementara disetiap tangkainya mempunyai daun sekitar 3 sampai 8 lembar. Permukaan batang tanaman ubi kayu beruas-ruas (Septiriyani, 2017). Berdasarkan hasil identifikasi oleh Herbarium Medanense (2016) taksonomi tanaman ubi kayu (*Manihot utilissima*) sebagai berikut:

kingdom : Plantae
divisi : Spermatophyta
subdivisi : Angiospermae
kelas : Dicotyledoneae
order : Euphorbiales
suku : Euphorbiaceae
genus : *Manihot*
spesies : *Manihot utilissima*



Gambar 10. Kulit Ubi Kayu

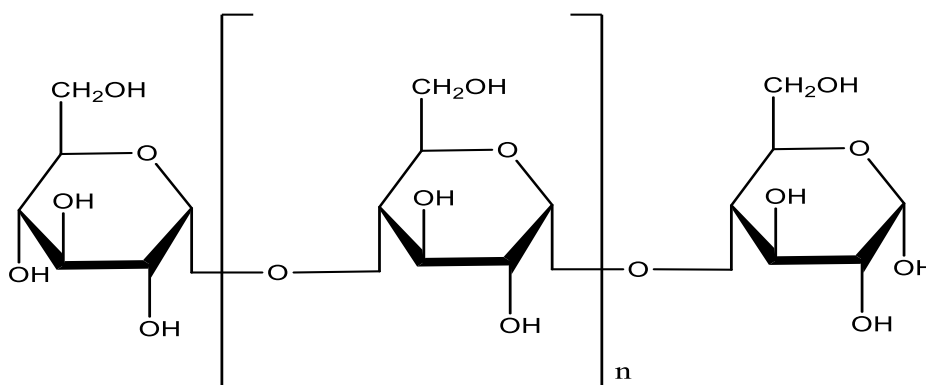
Negara Indonesia dapat produksi ubi kayu mencapai 21 juta ton pada tahun 2015, sehingga terdapat kurang lebih 4 juta ton kulit ubi kayu terbuang menjadi limbah (Ntelok, 2017). Muhiddin dkk., (2000) menyatakan pada kulit ubi kayu terdapat kandungan pati yang cukup tinggi, sehingga berpotensi digunakan sebagai substrat. Berdasarkan penelitian Ariani dkk. (2017) yang membandingkan komposisi kimia dari kulit ubi kayu dengan penelitian sebelumnya, berikut kandungan kimia yang diperoleh disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi kimia kulit ubi kayu

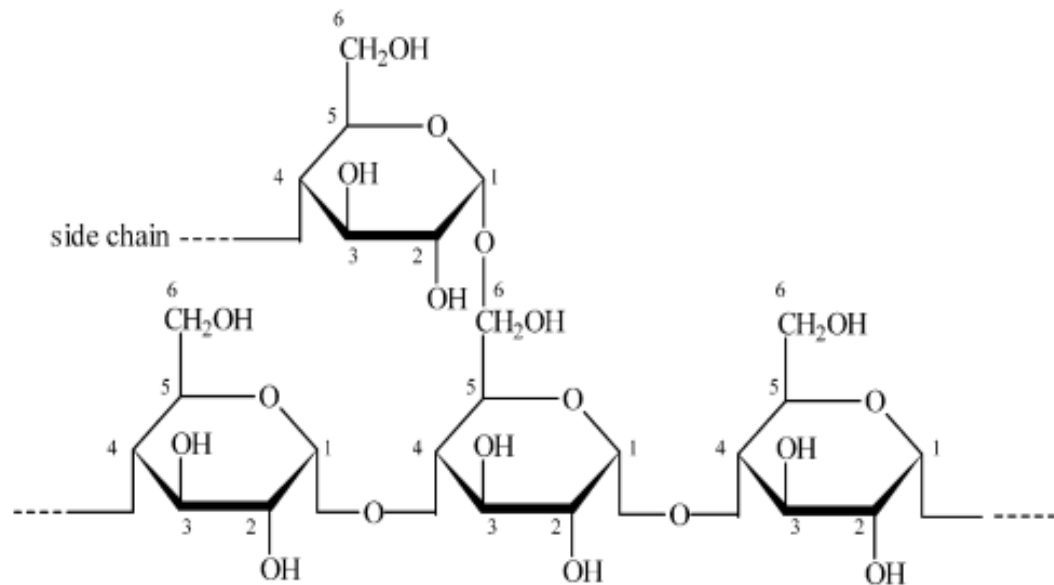
Bahan	Bobot kering (%)
Air	60,88 ± 0,06
Abu	2,13 ± 0,02
Protein	3,22 ± 0,05
Lemak	1,21 ± 0,08
Karbohidrat	33,69 ± 0,25
Pati	24,49 ± 0,08
Serat kasar	2,44 ± 0,10

2.8 Pati

Pati adalah polisakarida dari glukosa (Egharevba, 2019), yang terdiri dari amilosa dan amilopektin (Ramírez dkk., 2018; Herawati, 2011). Kadar amilosa dan amilopektin pada pati mempengaruhi sifat fisikokimia seperti gelatinisasi, penyerapan air dan viskositasnya (Ganjali dkk., 2010). Pemanfaatan pati saat ini banyak digunakan dalam aplikasi industri dan sebagai sumber energi terbarukan (Alay dan Meireles, 2015). Gambar 11 dan 12 menunjukkan struktur amilosa dan amilopektin.



Gambar 11. Struktur Amilosa (Martinez dkk., 2004)



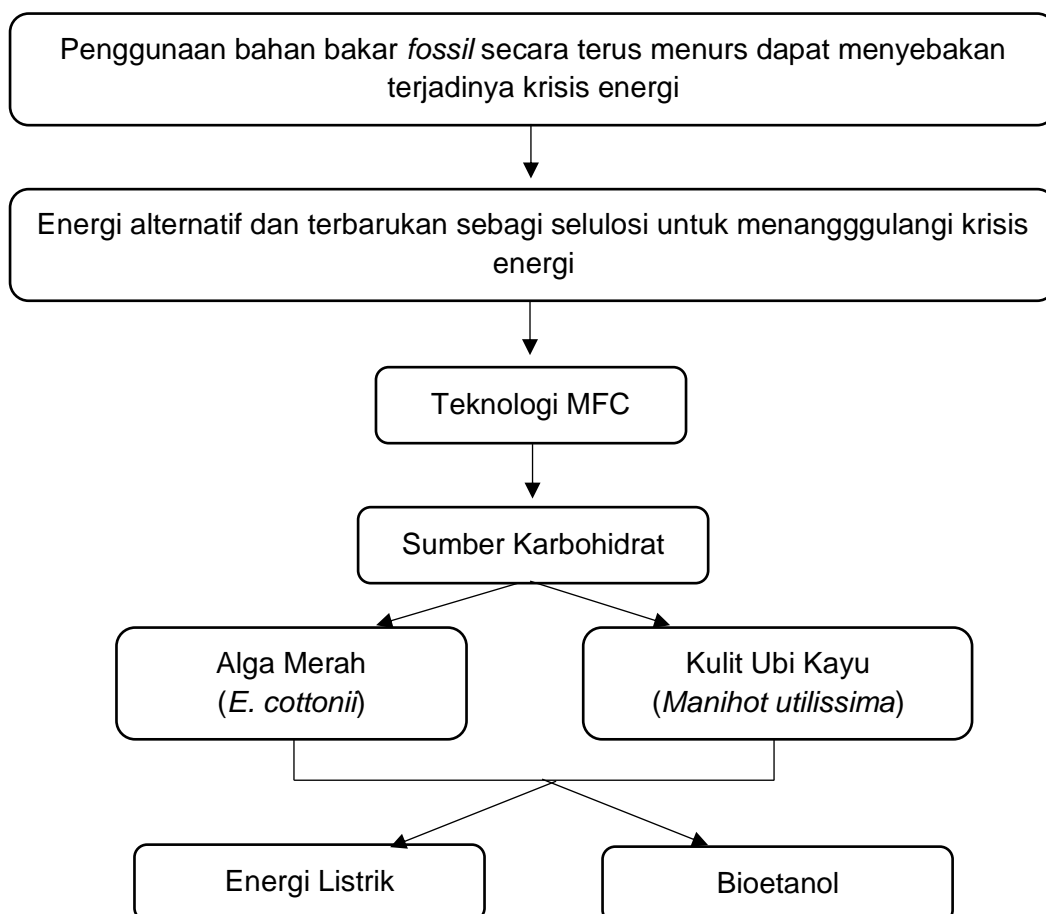
Gambar 12. Struktur Amilopektin (Martinez dkk., 2004)

Pati tidak hanya terdapat dalam ubi kayu terdapat beberapa jenis tumbuhan seperti kentang, jagung, gandum (Neelam dkk., 2012). Pati diperoleh dengan cara mengekstrak bahan-bahan nabati yang mengandung karbohidrat (Kamsiati dkk, 2017). Pati juga dapat diperoleh dari limbah pertanian seperti kulit ubi kayu (Widyastuti, 2019). Kulit ubi kayu dapat dijadikan sebagai sumber energi yaitu etanol yang diperoleh dari proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme (Widyastuti, 2019). Glukosa dapat diperoleh dari hidrolisis pati (Dewi dkk., 2018) yang dapat dijadikan sebagai sumber substrat pada sistem MFC (Sinaga dkk., 2014). Pati dapat dihidrolisis baik secara enzimatik ataupun menggunakan asam (Nasrulloh dkk., 2013). Hidrolisis menggunakan asam dalam proses pemotongan pati tidak teratur yang menghasilkan campuran glukosa, maltosa dan dekstrin (Dewi dkk., 2018).

2.9 Kerangka Pikir

Kebutuhan akan energi terus meningkat yang menyebabkan krisis energi, karena penggunaan bahan bakar *fossil* sebagai sumber utama penghasil energi yang tidak dapat diperbaharui. Energi alternatif dan terbarukan merupakan salah satu solusi untuk menghadapi krisis energi. *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai bioteknologi yang menghasilkan energi dari material organik berupa karbohidrat

melalui proses metabolisme mikroba. Pada kompartemen anoda di MFC berlangsung proses metabolisme karbohidrat yang menghasilkan karbondioksida, proton dan elektron. Elektron yang dihasilkan ditransfer ke kompartemen katoda melalui sirkuit eksternal sedangkan proton ditransfer melalui membran transfer proton. Elektron dan proton akan bereaksi di kompartemen katoda untuk mereduksi oksigen dan menghasilkan listrik. Biomassa yang dapat dijadikan sebagai substrat yaitu alga merah (*E. cottonii*) dan kulit ubi kayu. Berdasarkan penelitian sebelumnya, alga merah (*E. cottonii*) mengandung selulosa sebanyak 11,11% dan kulit ubi kayu mengandung pati sebanyak 9%. Kandungan karbohidrat yang tinggi pada kedua substrat yaitu *E. cottonii* dan kulit ubi kayu dapat dimanfaatkan sebagai sumber penghasil energi listrik dalam sistem MFC dan produk samping berupa bioetanol. Pada penelitian ini, *S. cerevisiae* menghasilkan enzim zimase digunakan sebagai mikroba dalam sistem MFC yang dapat mengkonversi glukosa menjadi etanol dan CO₂.



Gambar 13. Kerangka Pikir

2.10 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 2.10.1 pengaruh perbedaan sumber substrat dengan penambahan larutan elektrolit KMnO_4 dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ dapat menghasilkan arus, tegangan dan densitas daya yang berbeda.
- 2.10.2 hasil fermentasi dari larutan anolit menggunakan sumber substrat *Eucheuma cottonii* dan kulit ubi kayu pada sistem MFC menghasilkan kadar bioethanol yang berbeda.