

**ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK ONGGOK SINGKONG
SEBAGAI PASTA BIO-BATERAI**

(Skripsi)

Oleh

Tri Sumanzaya
1217041049



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS CASSAVA PULP AS BIO-BATTERY PASTE

By

Tri Sumanzaya

Bio-battery is a battery with paste that is made of natural materials. Bio-battery produce electrical power by using electrolyte cassava pulp and Cu-Zn electrode. Design of bio-batteries are made by 20 cell of dry cell battery type R20S IEC/UM-1/D 1,5 volt and arranged in series. Cassava pulp variation are new cassava pulp and pulp with fermentation for 48 hours, 96 hours, and 144 hours. The measurement of the electrical characteristics using 7 watt LED DC for 12 hours. The maximum voltage when the load is released which generated by new cassava pulp is 16,76 volt, fermented for 48 hours is 19,28 volt, fermented for 96 hours is 20,00 volt, and fermented for 144 hours is 20,30 volt. The variety of cassava pulp which has the best electrical characteristics is fermented cassava pulp for 144 hours. It could turn on the lamp with bright lights. The results showed that the longer the fermentation time of cassava pulp caused the electrical conductivity was increased.

Keywords: *Bio-battery, cassava pulp, the electrical characteristics.*

ABSTRAK

ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK ONGGOK SINGKONG SEBAGAI PASTA BIO-BATERAI

Oleh

Tri Sumanzaya

Bio-baterai adalah baterai dengan pasta yang berasal dari bahan alam yang ramah lingkungan. Bio-baterai mampu menghasilkan daya listrik dengan menggunakan elektrolit onggok singkong dan elektroda Cu-Zn. Desain alat dibuat dari baterai dry cell tipe R20S IEC/UM-1/D tegangan 1,5 volt sebanyak 20 buah yang dirangkai secara seri. Elektrolit yang digunakan adalah onggok singkong baru, onggok singkong fermentasi 48 jam, 96 jam, dan 144 jam. Pengukuran karakteristik elektrik onggok singkong dengan menggunakan beban lampu LED DC 12V 7 watt selama 12 jam. Tegangan maksimum saat tidak diberi beban yang dihasilkan onggok singkong baru sebesar 16,76 volt, fermentasi 48 jam sebesar 19,28 volt, fermentasi 96 jam sebesar 20,00 volt, dan fermentasi 144 jam sebesar 20,30 volt. Jenis onggok singkong yang memiliki karakteristik elektrik terbaik adalah onggok singkong fermentasi 144 jam. Onggok singkong tersebut mampu menyalakan lampu dengan terang. Penelitian ini menunjukkan semakin lama waktu fermentasi onggok singkong menyebabkan konduktivitas listrik meningkat.

Kata kunci: Bio-baterai, onggok singkong, karakteristik elektrik.

**ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK ONGGOK SINGKONG
SEBAGAI PASTA BIO-BATERAI**

**Oleh
Tri Sumanzaya**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultasa Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK
ONGGOK SINGKONG SEBAGAI PASTA
BIO-BATERAI**

Nama Mahasiswa : **Tri Sumanzaya**

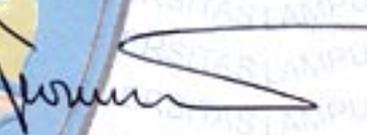
No. Pokok Mahasiswa : 1217041049

Jurusan : Fisika

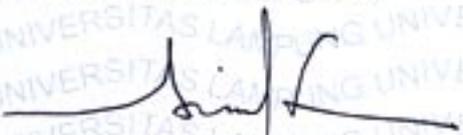
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 19650407 199111 1 001


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T
NIP. 19801010 200501 1 002

2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng
NIP. 19710909 200012 1 001

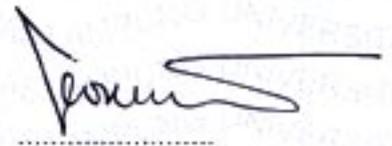
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

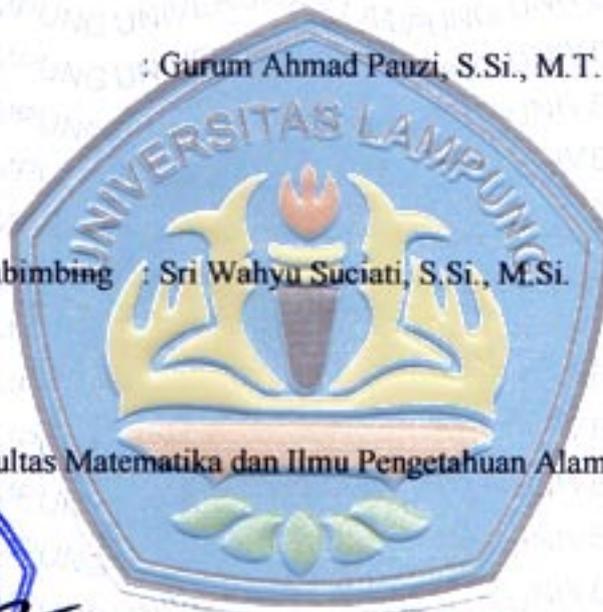
Ketua : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



Sekretaris : Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing** : Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Drs. Suratman, M.Sc.
N.P. 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 22 Mei 2019.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Mei 2019



Tri Sumanzaya
NPM. 1217041049

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Tri Sumanzaya dilahirkan pada tanggal 22 Oktober 1993 di Natar dan merupakan anak ketiga dari empat bersaudara pasangan dari Bapak Arsyad Achyar dan Ibu Suryati.

Penulis memulai perjalanan pendidikan berawal sekolah di SDN 7 Merak Batin hingga lulus pada tahun 2005. Kemudian melanjutkan sekolah di SMPN 1 Natar hingga lulus pada tahun 2008. Selanjutnya melanjutkan sekolah di SMAN 1 Natar dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur mandiri. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi. Penulis tergabung dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai Kepala Bidang Minat dan Bakat (MINBAK) periode 2014-2015. Selain itu, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan BEM Fakultas. Penulis juga aktif sebagai asisten praktikum dalam berbagai mata kuliah fisika dan instrumentasi.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di RSUD DR. H. Abdul Moeloek dengan judul “Aplikasi Alat Ukur Kadar Oksigen dalam Darah (SpO₂) pada *Patient Monitor* dengan Metode *Non-Invasive Pulse Oxymeter*”.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Alhamdulillahrabbi' alamin

Segala puji dan syukur yang tak terhingga kepada Allah SWT, penulis persembahkan karya ini untuk orang-orang yang berharga dalam hidup penulis

Kedua orang tuaku, papah dan mamah yang tercinta, kakak dan adikku, serta keluarga, atas segala doa, motivasi, semangat, dan pengorbanan besar yang telah diberikan kepada penulis,

Bapak-ibu guru dan dosen yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat berharga, dan motivasi besar kepada penulis,

dan

Sahabat dan teman-teman seperjuangan atas doa, dukungan, semangat dan kebersamaan selama di bangku perkuliahan.

MOTO

“Impossible is nothing”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Analisis Karakteristik Elektrik Onggok Singkong sebagai Pasta Bio-Baterai” yang disusun sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mencapai gelar Sarjana Sains dari Universitas Lampung. Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, Mei 2019

Penulis,

Tri Sumanzaya

SANWACANA

Alhamdulillah *rabbi'l' alamin*, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memotivasi, mendukung, dan membantu penulis selama penelitian dan penyelesaian skripsi ini, yaitu kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi,
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku pembimbing II dan pembimbing akademik (PA),
3. Ibu Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si. selaku penguji,
4. Ketua Jurusan Fisika FMIPA Univeritas Lampung,
5. Dekan FMIPA Universitas Lampung,
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung,
7. Karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung,
8. Kedua orang tua yang selalu mendukung penulis,
9. Teman-teman seperjuangan angkatan 2012, seluruh kakak dan adik tingkat Jurusan Fisika, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah mendukung dan membantu penulis selama menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas semua kebaikan dan usaha yang telah dilakukan oleh semua pihak. Amin.

Bandar Lampung, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
SURAT PERNYATAAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
PERSEMBAHAN	vii
MOTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu	7
B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	9
C. Teori Dasar	
1. Singkong atau Ubi Kayu	9
2. Onggok Singkong	11
3. Onggok sebagai Penghasil Arus Listrik	13
4. Elektrokimia	15
5. Eletrolit dan Non Elektrolit	17
6. Elektroda	19
7. Potensial Elektroda	20
8. Elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)	24
9. Baterai	26
10. Fermentasi	28
11. Derajat Keasaman	30
12. Besaran Listrik	31

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	35
B. Alat dan Bahan	35
C. Metode Penelitian	36

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Alat	43
B. Hasil Penelitian dan Analisis Karakteristik Elektrik Pasta Bio-Baterai Onggok Singkong	46
1. Analisis Karakteristik Elektrik Bio-Baterai Onggok Singkong Baru	50
2. Analisis Karakteristik Elektrik Bio-Baterai Onggok Singkong Fermentasi 48 Jam	55
3. Analisis Karakteristik Elektrik Bio-Baterai Onggok Singkong Fermentasi 96 Jam	60

4. Analisis Karakteristik Elektrik Bio-Baterai Onggok Singkong Fermentasi 144 Jam	65
C. Analisis Perbandingan Karakteristik Elektrik Pasta Bio-Baterai Onggok singkong Baru dan Onggok Singkong Fermentasi	71
1. Perbandingan Tegangan Tanpa Beban dari Keempat Jenis Pasta Bio-Baterai Onggok Singkong	71
2. Perbandingan Tegangan saat Diberi Beban dari Keempat Jenis Pasta Bio-Baterai Onggok Singkong	75
3. Perbandingan Kuat Arus dari Keempat Jenis Pasta Bio-Baterai Onggok Singkong	79
4. Perbandingan Daya Listrik dari Keempat Jenis Pasta Bio-Baterai Onggok Singkong	83
5. Perbandingan Hambatan Dalam dari Keempat Jenis Pasta Bio-Baterai Onggok Singkong	87

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	91
B. Saran	92

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Aliran elektron dari ion H^+ dan CN^- , (a) ion H^+ dan CN^- saat menyebar, (b) ion H^+ dan CN^- saat tertarik oleh elektroda (katoda dan anoda), (c) mengalirnya elektron dari katoda ke anoda menyebabkan arus listrik yang menhidupkan LED...	14
Gambar 2.2. Prinsip kerja sel Volta	16
Gambar 2.3. Proses transfer elektron pada baterai.....	27
Gambar 2.4. Skala pH dari 0 sampai 14	31
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	37
Gambar 3.2. Rancangan media penampung onggok singkong menggunakan baterai	39
Gambar 3.3. Grafik pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik onggok singkong terhadap waktu	42
Gambar 4.1. (a) Elektroda tembaga (Cu), (b) Elektroda seng (Zn)	44
Gambar 4.2. Bio-baterai atau tempat uji karakteristik elektrik onggok singkong secara keseluruhan yang terdiri dari (a) elektroda positif (tembaga), (b) elektroda negatif (seng), (c) onggok singkong, (d) penjepit, (e) kabel penghubung, (f) multimeter, dan (g) lampu LED	45
Gambar 4.3. Bio-baterai atau tempat uji karakteristik elektrik onggok singkong secara keseluruhan yang terdiri dari (a) elektroda positif (tembaga), (b) elektroda negatif (seng), (c) onggok singkong, (d) penjepit, (e) kabel penghubung, (f) multimeter, dan (g) lampu LED	46
Gambar 4.4. Instrumen pengukur (a) Multimeter Digital, dan (b) pH meter digital	47

Gambar 4.5. Sistem pengukuran karakteristik elektrik ongkok singkong tegangan saat beban dilepas	48
Gambar 4.6. Sistem pengukuran karekteristik elektrik ongkok singkong, (a) Pengukuran tegangan tanpa beban (V_{tb}), (b) Pengukuran saat diberi beban (V_b), dan (c) Pengukuran kuat arus (I)	49
Gambar 4.7. Pengujian karakteristik elektrik bio-baterai dengan ongkok singkong baru dan nyala lampu redup	52
Gambar 4.8. Grafik hubungan antara V_{tb} , V_b , dan I terhadap waktu selama 12 jam pengujian bio-baterai ongkok singkong baru	53
Gambar 4.9. Hubungan antara hambatan dalam (R_{in}) dan daya (P) terhadap waktu pada pengujian karakteristik elektrik bio-baterai ongkok singkong baru	54
Gambar 4.10. Pengujian karakteristik elektrik bio-baterai ongkok singkong fermentasi 48 jam dan lampu menyala (a) redup, dan (b) terang	57
Gambar 4.11. Grafik hubungan antara V_{tb} , V_b , dan I terhadap waku selama 12 jam pengujian karakteristik elektrik bio-baterai ongkok singkong fermentasi 48 jam	58
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara hambatan dalam (R_{in}) dan daya (P) terhadap waktu pada pengujian karakteistik elektrik bio-baterai ongkok singkong fermentasi 48 jam	59
Gambar 4.13. Pengujian karakteristik elektrik bio-baterai dengan ongkok singkong fermentasi 96 jam dan nyala lampu terang	62
Gambar 4.14. Grafik hubungan antara V_{tb} , V_b , dan I terhadap waku selama 12 jam pengujian karakteristik elektrik bio-baterai ongkok singkong fermentasi 96 jam	63
Gambar 4.15. Grafik hubungan antara hambatan dalam (R_{in}) dan daya (P) terhadap waktu pada pengujian karakteistik elektrik bio-baterai ongkok singkong fermentasi 96 jam	64
Gambar 4.16. Pengujian karakteristik elektrik bio-baterai dengan ongkok singkong fermentasi 144 jam dan nyala lampu terang	68
Gambar 4.17. Grafik hubungan antara V_{tb} , V_b , dan I terhadap waku selama 12 jam pengujian karakteristik elektrik bio-baterai ongkok singkong fermentasi 144 jam	68
Gambar 4.18. Grafik hubungan antara hambatan dalam (R_{in}) dan daya (P)	

terhadap waktu pada pengujian karakteristis elektrik bio- baterai onggok singkong fermentasi 144 jam	70
Gambar 4.19. Grafik perbandingan tegangan tanpa beban dari keempat jenis pasta onggok singkong terhadap waktu	73
Gambar 4.20. Grafik hubungan antara tegangan beban lepas (V_{bl}) terhadap pH	74
Gambar 4.21. Grafik perbandingan nilai tegangan saat diberi beban dari keempat jenis pasta onggok singkong terhadap waktu	77
Gambar 4.22. Grafik hubungan antara tegangan saat diberi beban (V_b) terhadap pH	78
Gambar 4.23. Grafik perbandingan nilai kuat arus dari keempat jenis onggok singkong terhadap waktu	81
Gambar 4.24. Grafik hubungan antara arus (I) terhadap pH	82
Gambar 4.25. Grafik perbandingan nilai daya listrik dari keempat jenis onggok singkong terhadap waktu	85
Gambar 4.26. Grafik hubungan antara daya (P) terhadap pH	86
Gambar 4.27. Grafik perbandingan nilai hambatan dalam dari keempat jenis onggok singkong terhadap waktu	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan gizi dalam tiap 100 gram singkong	10
Tabel 2.2. Komposisi zat penyusun onggok	12
Tabel 2.3. Pengelompokan larutan elektrolit	18
Tabel 2.4. Nilai potensial deret Volta	23
Tabel 2.5. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni	25
Tabel 3.1. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik onggok singkong saat beban dilepas dan saat diberi beban	41
Tabel 3.2. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik onggok singkong fermentasi saat beban dilepas dan saat diberi beban	41
Tabel 4.1. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik pasta bio-baterai onggok singkong baru saat beban dilepas dan saat diberi beban lampu LED 7 watt	51
Tabel 4.2. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik pasta bio-baterai onggok singkong fermentasi 48 jam saat beban dilepas dan saat diberi beban lampu LED 7 watt	56
Tabel 4.3. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik pasta bio-baterai onggok singkong fermentasi 96 jam saat beban dilepas dan saat diberi beban lampu LED 7 watt	61
Tabel 4.4. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik pasta bio-baterai onggok singkong fermentasi 144 jam saat beban dilepas dan saat diberi beban lampu LED 7 watt	66
Tabel 4.5. Perbandingan nilai tegangan tanpa beban dari keempat jenis pasta bio-baterai onggok singkong	72
Tabel 4.6. Data pengukuran pH dan tegangan beban lepas keempat jenis bio-baterai onggok singkong	74

Tabel 4.7. Perbandingan nilai tegangan saatn diberi beban dari keempat jenis pasta bio-baterai onggok singkong	76
Tabel 4.8. Data pengukuran pH dan tegangan saat diberi beban keempat jenis bio-baterai onggok singkong	78
Tabel 4.9. Perbandingan nilai kuat arus dari keempat jenis pasta bio-baterai onggok singkong	80
Tabel 4.10. Data pengukuran pH dan arus dari keempat jenis bio-baterai onggok singkong	82
Tabel 4.11. Perbandingan nilai daya listrik dari keempat jenis pasta bio-baterai onggok singkong	84
Tabel 4.12. Data pengukuran pH dan daya dari keempat jenis bio-baterai onggok singkong	86
Tabel 4.13. Perbandingan nilai hambatan dalam dari keempat jenis pasta bio-baterai onggok singkong	88

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Menurut Santoso (1998), limbah merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia atau proses-proses alam, yang tidak atau belum memiliki nilai ekonomi. Limbah dapat memiliki nilai ekonomi yang negatif apabila penanganan untuk membuang atau membersihkannya memerlukan biaya yang cukup besar, disamping itu limbah juga dapat mencemari lingkungan. Dari data yang diperoleh Pramono (2004) menunjukkan bahwa sekitar 60% sampah merupakan sampah sayuran dan 40% sampah daun-daunan, kulit buah-buahan, dan sisa makanan dari total seluruh sampah organik kota. Namun limbah organik tersebut dapat memiliki nilai ekonomi yang positif karena memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif, salah satunya adalah limbah onggok singkong.

Onggok singkong merupakan hasil sampingan dari pengolahan singkong menjadi tapioka. Tahun 2015 produksi singkong di Indonesia mencapai 21.790.956 ton. Sebagai provinsi dengan produksi singkong terbesar di Indonesia, Lampung mampu memproduksi singkong sebesar 7.387.084 ton pada tahun 2015 (Badan

Pusat Statistik, 2015). Singkong tersebut dimanfaatkan masyarakat sebagai substitusi makanan pokok dan sebagian besar untuk produksi tepung tapioka. Selama proses pengolahan singkong menjadi tapioka akan dihasilkan limbah cair dan limbah padat (onggok singkong). Ketersediaan onggok di Provinsi Lampung sangat melimpah. Menurut Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Lampung (2003), setiap produksi satu ton singkong akan menghasilkan 11,4% onggok. Onggok yang dihasilkan Provinsi Lampung dari 37 pabrik diperkirakan mencapai 1.095.444 ton per tahun (Hendri, J, 1999). Dalam produksi tapioka, dari setiap ton singkong dihasilkan 250 kg tapioka dan 114 kg onggok, atau jumlah onggok dapat mencapai 30% dari bahan baku. Komponen penting yang terdapat dalam onggok singkong adalah kandungan zat organik berupa pati dan serat kasar. Selain itu onggok singkong juga mengandung asam sianida (HCN) (Rukmana, 1986). HCN merupakan salah satu bahan elektrolit yang dapat menghasilkan arus listrik. Dari sifat kelistrikan yang dikandung elektrolit dari onggok singkong tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan berupa bio baterai sebagai pengganti pasta batu baterai.

Baterai yang tersedia secara komersial mengandung logam berat seperti merkuri, timbal, kadmium dan nikel yang dapat mencemari lingkungan apabila baterai tidak dibuang dengan benar. Selain itu, baterai juga mahal jika digunakan untuk penerangan yang lama. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan melakukan pengembangan bio-baterai. Bio-baterai merupakan baterai dengan pasta baterai yang berasal dari bahan alam yang ramah lingkungan dan tidak mengandung zat kimia berbahaya. Selain itu, bio-baterai memiliki harga yang relatif murah.

Pengembangan bio-baterai sebagai sumber energi alternatif terus dikembangkan, mengingat dalam kehidupan sehari-hari tidak lepas dari penggunaan baterai. Menurut Kartawidjaja dkk (2008), prinsip bio-baterai hanya melibatkan transportasi elektron antara dua elektroda yang dipisahkan oleh medium konduktif (elektrolit) serta memberikan kekuatan gerak listrik berupa potensial listrik dan arus. Penelitian tentang bio-baterai yang dilakukan oleh Muhlisin (2015) menggunakan sampah variasi kulit pisang dan kulit durian sebagai bahan alternatif pengganti pasta batu baterai. Di dalam kulit durian dan kulit pisang terdapat senyawa Kalium klorida (KCl). KCl merupakan elektrolit kuat yang dapat terionisasi dan menghantarkan arus listrik. Penelitiannya menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimal dari kulit pisang lebih besar dibandingkan kulit durian, yaitu 1,12 volt untuk kulit pisang dan kulit durian 0,99 volt. Penelitian selanjutnya juga dilakukan oleh Irsan (2016) yang menganalisa karakteristik elektrik dari kulit singkong sebagai pengganti sumber energi listrik untuk mengisi ulang baterai *handphone*. Pada penelitiannya digunakan sepasang elektroda Cu-Zn untuk mengetahui karakteristik elektrik dari 3 jenis kulit singkong, yaitu kulit singkong putih, kulit singkong IR, dan kulit singkong bassiro dan menggunakan media penyimpan berupa sel sebanyak 20 sel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang dihasilkan dari kulit singkong IR lebih besar dibandingkan kulit singkong putih dan kulit singkong IR, yaitu 14,36 volt.

Pengembangan bio-baterai dari limbah sampah organik terus dikembangkan, sehingga pada penelitian ini dilakukan analisis karakteristik limbah onggok singkong sebagai pasta bio-baterai. Pada penelitian ini, bio-baterai dibuat dari limbah onggok singkong yang digunakan sebagai pengganti pasta batu

baterai. Elektroda yang digunakan yaitu tembaga (Cu) yang digunakan sebagai katoda atau pengoksidasi (menerima elektron) dan seng (Zn) yang digunakan sebagai anoda atau sumber elektron yang teroksidasi selama reaksi elektrokimia. Pada penelitian ini akan digunakan onggok singkong baru dan onggok singkong fermentasi dengan memberikan variasi lama waktu fermentasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif yang terbarukan dengan memanfaatkan limbah onggok singkong yang cukup banyak di Provinsi Lampung.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang tersebut dapat dibuat rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan membuat media uji karakteristik elektrik onggok singkong.
2. Bagaimana hubungan antara onggok singkong baru atau onggok singkong fermentasi yang digunakan dengan karakteristik elektrik yang dihasilkan.
3. Bagaimana karakteristik elektrik yang dihasilkan onggok singkong terhadap variasi lama waktu fermentasi yang digunakan.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan sebuah alat bio-baterai onggok singkong yang dapat menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan.

2. Mengetahui karakteristik elektrik yang dihasilkan oleh onggok singkong pada setiap rangkaian batu baterai sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.
3. Mengetahui potensi daya listrik yang dihasilkan oleh bio-baterai untuk dimanfaatkan dalam kebutuhan sehari-hari.
4. Menghasilkan sebuah alat yang dapat menghasilkan energi listrik alternatif terbarukan yang berkelanjutan.
5. Memanfaatkan onggok singkong sebagai sumber energi listrik terbarukan secara berkelanjutan.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan sebuah alat yang dapat menghasilkan energi listrik alternatif terbarukan yang berkelanjutan.
2. Memanfaatkan onggok singkong sebagai sumber energi listrik terbarukan secara berkelanjutan.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Media yang digunakan terdiri dari batu baterai sebagai media penyimpan onggok singkong dan elektroda negatif, dan kabel tembaga (Cu) sebagai elektroda positif.

2. Pengukuran karakteristik elektrik onggok singkong menggunakan dua jenis onggok, yaitu onggok singkong baru dan fermentasi.
3. Pengukuran karakteristik elektrik onggok singkong menggunakan dua jenis rangkaian, yaitu rangkaian seri dan campuran.
4. Jumlah media tempat uji potensi dan karakteristik elektrik onggok singkong sebanyak 20 buah baterai.
5. Data pengamatan yang diukur berupa tegangan, arus, hambatan dalam, dan lama pemakaian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Muhlisin (2015) yaitu mengenai pemanfaatan sampah kulit pisang dan kulit durian sebagai bahan alternatif pengganti pasta batu baterai. Dalam penelitiannya digunakan baterai bekas dengan zat mangan oksida yang sudah tidak dapat digunakan diganti dengan pasta kulit pisang dan kulit durian. Di dalam kulit durian dan kulit pisang terdapat zat kalium klorida. KCl merupakan elektrolit kuat yang mampu terionisasi dan menghantarkan listrik. Penelitian dilakukan menggunakan variasi jenis kulit pisang yaitu kulit pisang ambon, kulit pisang janten dan kulit pisang muli, serta kulit durian. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pada baterai dengan pasta kulit pisang dan kulit durian. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan nilai tegangan maksimum yang didapatkan dari kulit pisang lebih besar dari kulit durian, yaitu 1,12 volt dan kulit durian sebesar 0,99 volt. Berdasarkan penelitian tersebut kulit pisang ambon adalah pengganti pasta batu baterai terbaik dibandingkan dengan jenis kulit lainnya.

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Hendri dkk (2015) yaitu pengaruh jenis kulit dan variasi waktu fermentasi terhadap kelistrikan dari sel accu

menggunakan larutan kulit pisang. Kulit pisang dipilih karena memiliki potensi sebagai energi alternatif dan digunakan untuk mengisi larutan accumulator. Jenis kulit pisang yang digunakan yaitu ambon, raja, kepok dan mas. Karakteristik elektrik yang diteliti adalah kuat arus dan tegangan dengan variasi fermentasi yaitu 48, 92, 144, dan 196 jam. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan waktu fermentasi 196 jam dan kulit pisang ambon adalah jenis kulit pisang terbaik sebagai bio-baterai dengan nilai kuat arus 33,08 mA dan tegangan sebesar 3,70 volt. Lamanya waktu fermentasi mengakibatkan nilai pH kulit pisang menjadi lebih kecil. Penurunan nilai pH diakibatkan karena aktifitas organisme dalam material meningkat, sehingga menyebabkan proses transfer elektron terjadi dengan cepat menghasilkan kuat arus dan tegangan yang lebih besar.

Irsan (2016) melakukan penelitian mengenai analisis karakteristik elektrik limbah kulit singkong sebagai sumber energi listrik alternatif terbarukan untuk mengisi batu baterai *handphone*. Dalam penelitiannya digunakan variasi jenis kulit singkong yaitu singkong putih, singkong bassiro, dan singkong genjah urang dengan elektroda yang digunakan adalah Cu-Zn untuk mengisi baterai *handphone*. Pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong yaitu dengan menggunakan beban LED 1,2 watt dan saat beban dilepas. Penelitian tersebut dirancang dalam bentuk sel yang terdiri dari 20 sel yang dirangkai secara seri dengan volume 200 ml per sel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis kulit singkong yang memiliki karakteristik elektrik terbaik untuk mengisi ulang baterai *handphone* adalah kulit singkong genjah urang, dimana tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 14,36 volt. Pengujian pengisian baterai *handphone* dilakukan pada saat

baterai *handphone* yang kosong dan diisi selama 2 jam menghasilkan nyala *handphone* selama 15 detik ketika dilepas dari rangkaian.

B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini akan dikembangkan inovasi sumber energi alternatif secara berkelanjutan menggunakan onggok singkong dan elektroda dari tembaga dan seng (Cu-Zn) yang dirangkai secara seri. Desain penelitian dirancang menggunakan batu baterai silinder dengan menggantikan mangan oksida menggunakan pasta onggok singkong. Dalam penelitian dirancang berdasarkan variasi lama waktu fermentasi onggok singkong. Karakteristik elektrik onggok singkong dapat diketahui melalui pengukuran tegangan dan kuat arus menggunakan multimeter digital. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan dalam dua tahap yaitu pengukuran karakteristik elektrik onggok singkong saat beban dilepas dan pengukuran karakteristik onggok singkong saat diberi beban berupa lampu LED dengan beban sebesar 7 watt. Kemudian akan dianalisis pengaruh lama waktu fermentasi onggok singkong terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan.

C. Teori Dasar

1. Singkong atau Ubi Kayu

Singkong memiliki nama botani *Manihot esculenta Crantz* tapi lebih dikenal dengan nama *Manihot utilissima*. Singkong termasuk ke dalam kingdom *Plantae*, divisi *Spermatophyta*, subdivisi *Angiospremae*, kelas *Dicotyledonae*, famili

Euphorbiaceae, genus *Manihot* dengan spesies *esculenta* Crantz, dengan berbagai varietas (Rukmana, 1986). Singkong juga dikenal dengan nama ubi kayu, telo jendral, bodin dan sebagainya dengan kandungan gizi singkong per 100 gram bahan disajikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Kandungan gizi dalam tiap 100 gram singkong.

No.	Komponen	Singkong	Singkong Kuning
1	Kalori (kkal)	146,00	157,00
2	Protein (gram)	0,80	0,80
3	Lemak (gram)	0,30	0,30
4	Karbohidrat (gram)	34,70	37,90
5	Air (gram)	62,50	60,00
6	Kalsium (mg)	33,00	33,00
7	Fosfor (mg)	40,00	40,00
8	Zat besi (mg)	0,70	0,70
9	Asam askorbat (mg)	30,00	30,00
10	Thiamin (mg)	0,06	0,06
12	Bagian yang dapat dimakan (%)	75,00	75,00

Sumber : Departemen Kesehatan RI, 1981.

Umbi singkong dapat diolah menjadi gula cair (*high fructose*), makanan ternak, dan sebagai bahan bakar yang disebut etanol. Hampir seluruh bagian dari tanaman singkong dapat dimanfaatkan, namun hingga saat ini tanaman singkong masih jarang dikonsumsi masyarakat luas. Kelemahan utama yang menyebabkan singkong kurang diminati secara menyeluruh dan hanya dimanfaatkan sebagai makanan pokok di daerah pedesaan disebabkan oleh kandungan racun glikosida sianogenik (linamarin). Glikosida tersebut tidak bersifat racun, tetapi asam sianida (HCN) yang dibebaskan oleh enzim linamerase secara hidrolisis yang bersifat racun (Tjokroadikoesoemo, 1985). Terdapat dua jenis singkong yang secara umum sering dikenal yaitu singkong manis dan singkong pahit. Kandungan asam

sianida (HCN) pada singkong pahit dapat mencapai 100 mg/kg, sedangkan pada singkong manis sekitar 40 mg/kg. kadar HCN pada singkong dipengaruhi oleh keadaan tanah, penyiapan stek, cara bercocok tanam, iklim dan umur panen.

Menurut Effendi (2000), sianida merupakan kelompok senyawa anorganik dan organik dengan siano (CN^-) sebagai struktur utama. Sianida dalam bentuk ion mudah terserap oleh bahan-bahan yang tersuspensi maupun oleh sedimen dasar. Sianida bersifat sangat reaktif, dimana sianida bebas menunjukkan adanya kadar HCN dan CN^- . Asam sianida atau Hidrogen sianida (HCN) dengan rumus molekul HCN adalah senyawa anorganik berbentuk cairan yang mudah menguap, cairan tak berwarna, dan sangat beracun, dengan titik didih mencapai $25,6^\circ\text{C}$ ($78,1^\circ\text{F}$). Asam sianida biasa digunakan dalam pembuatan asetronitril yang kemudian digunakan untuk produksi serat akrilik, karet sintetis, dan plastik. Bisa juga digunakan dalam berbagai proses kimia, seperti pumigasi, pengerasan besi dan baja, elektroplating, dan pemurnian bijih.

2. Onggok Singkong

Salah satu jenis industri yang cukup banyak menghasilkan limbah adalah pabrik pengolahan tepung tapioka. Dari proses pengolahan singkong menjadi tepung tapioka, dihasilkan limbah sekitar $2/3$ bagian atau 75% dari bahan mentahnya. Dimana limbah tersebut berupa limbah padat yang biasa disebut onggok atau ampas singkong. Onggok memiliki kandungan karbohidrat cukup tinggi dan lemak rendah. Komposisi kimia onggok beragam tergantung dari mutu bahan baku, efisiensi proses ekstraksi, iklim dan topografi, kehilangan selama

pengambilan pati dan pengeringan onggok itu sendiri (Nurhasanah, 1993).

Berbagai komposisi zat penyusun onggok disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi zat penyusun onggok

Zat Penyusun	% Berat			
	A	B	C	D
Karbohidrat	60,60	73,70	82,23	68,30 – 67,93
Protein	0,8	1,15	1,62	1,70 – 1,45
Lemak	0,25	0,27	0,47	0,22 – 0,30
Serat	21,92	10,77	7,30	9,42 – 10,54
Air	14,32	15,07	13,96	19,70 – 20,20

Sumber: Nurhasanah (1993)

Onggok yang dihasilkan dalam bentuk basah, kandungan air yang mencapai 60-70% (Afrian dkk, 2014). Hal tersebut menyebabkan onggok mudah tercemar oleh kapang, sehingga proses pembusukan menjadi lebih cepat. Sementara itu, onggok juga memiliki kandungan asam sianida (HCN) yang tinggi yaitu sekitar 175 ppm. Rata-rata kadar HCN pada onggok yang dijemur di tanah sebesar 94,31 ppm dan penjemuran di lantai semen sebesar 77,56 ppm (Afrian dkk, 2014).

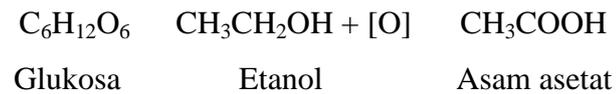
Ketersediaan onggok di Provinsi Lampung sangat melimpah. Menurut Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Lampung (2003), setiap produksi satu ton singkong akan menghasilkan 11,4% onggok. Pada tahun 2001 produksi singkong di Provinsi Lampung mencapai 3.613.919 ton yang sebagian besar diolah menjadi tapioka. Produksi singkong yang tinggi dapat menghasilkan onggok sebesar 411.986,77 ton. Onggok yang dihasilkan di Provinsi Lampung dari 37 pabrik diperkirakan mencapai 1.095.444 ton per tahun (Hendri J., 1999). Sedangkan pada tahun 2011, total produksi singkong Provinsi Lampung mencapai

9.193.676 ton dengan luas panen sebesar 368.096 ha (BPS Provinsi Lampung, 2011). Berdasarkan total produksi tersebut, Provinsi Lampung menjadi salah satu daerah penghasil singkong tertinggi di Indonesia.

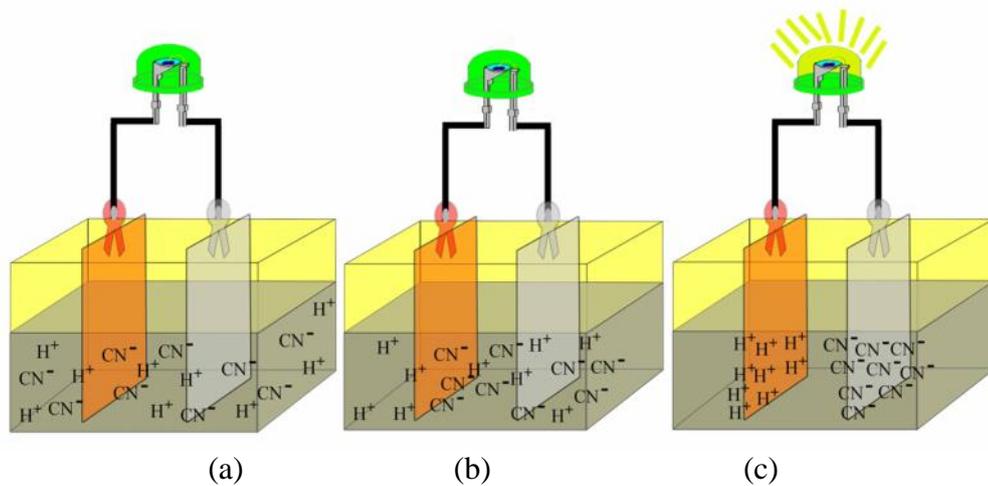
Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2009), produsen tapioka dalam skala besar dengan kapasitas 700 ton per hari dapat menghasilkan tapioka sebanyak 140 ton per hari dan onggok yang dihasilkan sebesar 175 ton per hari. Berdasarkan jumlah dan kandungannya, onggok memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan menjadi produk yang lebih bernilai. Saat ini onggok singkong sebagian besar dimanfaatkan sebagai pakan ternak yaitu sapi, kerbau, kambing, ayam dan ikan, untuk bahan baku berbagai produk dan bahan baku pembuatan asam sitrat, asam laktat, etanol dan protein sel tunggal. Selain itu, onggok singkong juga memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan seperti bioetanol dan bio-baterai.

3. Onggok sebagai Penghasil Arus Listrik

Onggok singkong mengandung karbohidrat sebanyak 68,30% dan kandungan asam sianida sebesar 175 ppm (Nurhasanah, 1993). Karbohidrat mengandung glukosa, apabila glukosa dicampur dengan air dan didiamkan maka akan terjadi fermentasi. Selama proses fermentasi tersebut akan dihasilkan etanol. Etanol lama-kelamaan akan terionisasi menjadi asam etanoat atau asam asetat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Asam asetat merupakan salah satu jenis zat elektrolit, selain CH_3COOH terdapat juga HCN yang merupakan elektrolit lemah. Reaksi ionisasi yang terjadi pada asam sianida sebagai berikut.



Gambar 2.1. Aliran elektron dari ion H^+ dan CN^- , (a) ion H^+ dan CN^- saat menyebar, (b) ion H^+ dan CN^- saat tertarik oleh elektroda (katoda dan anoda), (c) mengalirnya elektron dari katoda ke anoda menyebabkan arus listrik yang menhidupkan LED (Irsan, 2017).

Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif. Bahan elektroda yang ideal adalah yang memiliki konduktivitas yang tinggi, luas permukaan spesifik yaitu luas permukaan per unit berat sebesar mungkin untuk penyerapan (Oren, 2007). Tembaga (Cu) sebagai katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi, dimana didalamnya terjadi penangkapan elektron. Sedangkan seng (Zn) sebagai anoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi sehingga akan terjadi pelepasan elektron selama reaksi berlangsung (Landis,

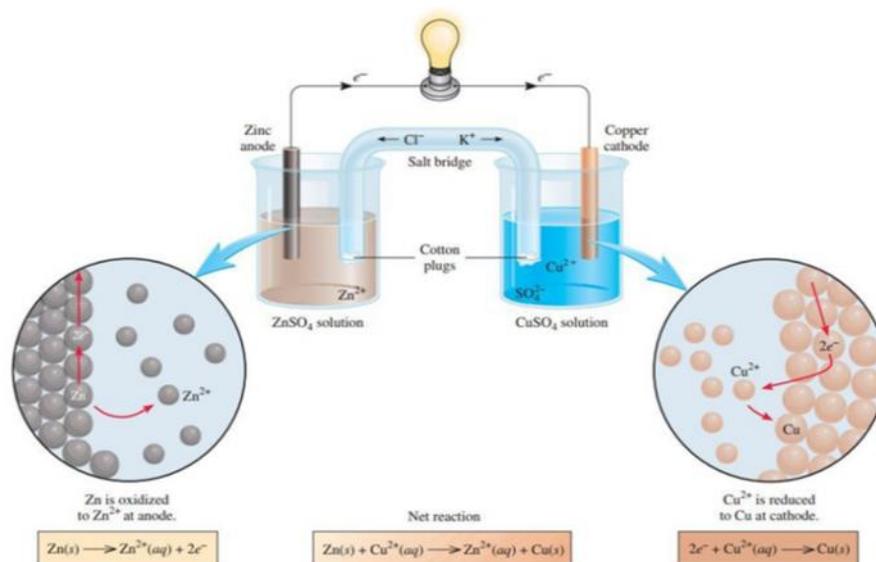
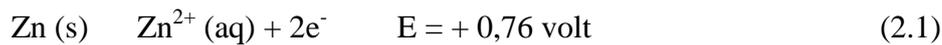
1909). Arus listrik yang mengalir karena seng bertindak sebagai katoda yang bersifat menarik ion negatif (CN^-) dan tembaga (Cu) bertindak sebagai anoda yang bersifat menarik ion positif (H^+). Ketika pasta onggok singkong bersentuhan dengan unsur seng dan tembaga terjadi reaksi ionisasi dalam pasta, sehingga terjadi aliran elektron yang menyebabkan arus listrik mengalir.

4. Elektrokimia

Elektrokimia adalah ilmu yang mempelajari aspek elektronika dari reaksi kimia, yaitu ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan reaksi-reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik. Dalam elektrokimia, reaksi kimia yang terjadi adalah reaksi reduksi dan oksidasi atau dikenal dengan reaksi redoks. Proses dasarnya adalah adanya transfer elektron antara permukaan elektroda dengan molekul di dalam larutan yang berpartisipasi dalam reaksi redoks (Wang, 2000). Reaksi reduksi dan oksidasi adalah reaksi dengan perpindahan elektron dari satu senyawa ke senyawa lain, misalnya $\text{Cu} + 2 \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{Ag}$. Selain itu, oksidator adalah penerima elektron dan reduktor adalah pemberi elektron.

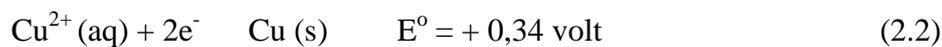
Peristiwa elektrokimia telah dilakukan pada tahun 1737-1798 oleh Volta dan Luigi Galvani yang menghasilkan perdebatan di antara keduanya, dan akhirnya eksperimen Volta menunjukkan bahwa apabila dua elektroda yang memiliki beda potensial dihubungkan melalui elektrolit, maka akan mengalir arus listrik di antara kedua elektroda tersebut. Eksperimen Volta menjadi prinsip kerja baterai (Giancoli, 1998). Prinsip kerja sel elektrokimia dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Bila dua buah elektroda yang berbeda jenisnya, misalnya elektroda Zn dan elektroda Cu dihubungkan dengan kawat yang dan terhubung dengan lampu dan jembatan garam, maka logam Zn akan teroksidasi menjadi Zn^{2+} dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



Gambar 2.2. Prinsip kerja sel Volta (Zoski, 2007).

Elektron yang dihasilkan oleh logam Zn mengalir melalui lampu menuju ke arah elektroda Cu. Kemudian elektron yang ditangkap oleh ion Cu dalam larutan CuSO_4 dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



Cu yang dihasilkan akan mengendap pada batang logam Cu, sehingga batang logam Cu semakin menebal. Logam Zn mengalami oksidasi, sehingga elektroda ini disebut dengan anoda, dan menjadi kutub negatif karena menghasilkan elektron. Ion Cu mengalami reduksi menjadi Cu dan menempel pada katoda

sebagai kutub positif. Perpindahan elektron dari anoda ke katoda menyebabkan larutan di anoda kelebihan muatan negatif karena bertambahnya ion Zn. Larutan di katoda kelebihan muatan negatif karena berkurangnya ion Cu. Untuk menetralkan muatan listrik, dipasang jembatan garam, yaitu larutan NaNO_3 atau KCl dalam agar-agar yang dimasukkan dalam pipa U.

Sel elektrokimia merupakan alat yang digunakan untuk melangsungkan perubahan reaksi oksidasi dan reduksi. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron disebut anoda, sedangkan elektroda yang menerima elektron disebut katoda. Jadi sebuah sel selalu terdiri dari anoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi, dan katoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi reduksi dan larutan elektrolit/ionik untuk menghantarkan arus. Contoh aplikasi sel elektrokimia dalam kehidupan sehari-hari yaitu pada aki, baterai kering, baterai alkalin, dan baterai litium (Bird, 1993).

5. Elektrolit dan Non Elektrolit

Air merupakan pelarut yang baik untuk senyawa ion, larutan air mempunyai sifat-sifat khas, salah satunya adalah dapat menghantarkan listrik. Apabila elektroda dicelupkan ke dalam air murni dan terhubung dengan sumber listrik dan bola lampu, maka bola lampu tidak akan menyala karena air adalah konduktor listrik yang sangat buruk. Namun, apabila suatu senyawa ion yang larut seperti NaCl ditambahkan pada air tersebut maka bola lampu dapat menyala dengan terang.

Senyawa NaCl tersebut membuat larutan menjadi konduktor listrik yang disebut elektrolit. Elektrolit pertama kali dikenalkan oleh Svante Arrhenius, seorang ahli kimia dari Swedia (Brady, 1999).

Arrhenius (1884) menyatakan bahwa larutan elektrolit dalam air terdisolasi ke dalam partikel-partikel bermuatan listrik positif dan negatif yang disebut ion (ion positif dan ion negatif). Jumlah muatan ion positif akan sama dengan jumlah muatan ion negatif, sehingga muatan ion-ion dalam larutan menjadi netral. Ion-ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik. Larutan elektrolit akan memberikan gejala berupa nyala lampu atau timbulnya gelembung gas dalam larutan. Larutan elektrolit dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan non elektrolit seperti yang ditunjukkan Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Pengelompokan larutan elektrolit (Brady, 1999).

Jenis Larutan	Sifat Larutan	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	- Terioisasi sempurna	- NaCl	NaCl $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
	- Menghantarkan arus listrik	- HCl	HCl $\text{H}^+ + \text{Cl}^-$
	- Lampu menyala terang	- NaOH	NaOH $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$
	- Terdapat gelembung gas	- H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ $2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
		- KCl	KCl $\text{K}^+ + \text{Cl}^-$
Elektrolit Lemah	- Terioisasi sebagian	- CH ₃ COOH	CH ₃ COOH $\text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
	- Menghantarkan arus listrik	- N ₄ OH	N ₄ OH $4\text{N}^+ + (\text{OH}^-)^4$
	- Lampu menyala redup	- HCN	HCN $\text{H}^+ + \text{CN}^-$
	- Terdapat gelembung gas	- Al(OH) ₃	Al(OH) ₃ $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-$
Non elektrolit	- Terioisasi sebagian	- C ₆ H ₁₂ O ₆	
	- Menghantarkan arus listrik	- C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	
	- Lampu menyala redup	- CO(NH ₂) ₂	
	- Terdapat gelembung gas	- C ₂ H ₅ OH	

Kekuatan suatu elektrolit ditandai dengan suatu besaran yang disebut derajat ionisasi (α). Elektrolit kuat memiliki harga $\alpha = 1$, karena semua zat yang dilarutkan terurai menjadi ion. Elektrolit lemah memiliki harga $\alpha < 1$ karena hanya sebagian yang terurai menjadi ion, sedangkan non elektrolit memiliki harga $\alpha = 0$ karena tidak ada yang terurai menjadi ion (Chang, 2003).

6. Elektroda

Elektroda merupakan konduktor yang dapat dialiri arus listrik dari satu media ke media yang lain. Elektroda biasanya terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga terdapat elektroda yang terbuat dari bahan konduktor listrik non-logam, seperti grafit. Elektroda dapat digunakan dalam pengelasan, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis (Chang, 2003). Dalam kasus arus listrik searah, elektroda datang berpasangan, dan dikenal sebagai anoda dan katoda. Pada baterai, atau sumber DC lainnya, anoda didefinisikan sebagai elektroda ketika elektron datang dari sel elektrokimia sehingga terjadi oksidasi. Sedangkan katoda didefinisikan sebagai elektroda ketika elektron memasuki sel elektrokimia dan terjadi reduksi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan terhadap sel elektrokimia tersebut. Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya (Hiskia, 1992).

Elektroda terbagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut.

a. Anoda

Pada sel galvani, anoda merupakan tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif yang disebabkan oleh reaksi kimia spontan dan elektron akan dilepaskan oleh elektroda. Pada sel elektrolisis, sumber eksternal tegangan didapat dari luar, sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda. Ion-ion bermuatan negatif akan mengalir pada anoda untuk dioksidasi (Dogra, 1990).

b. Katoda

Katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reduksi berbagai zat kimia. Katoda bermuatan positif bila dihubungkan dengan anoda yang terjadi pada sel galvani. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda. Pada sel elektrolisis, katoda adalah elektroda yang bermuatan negatif (anion). Ion-ion bermuatan positif (kation) mengalir ke elektroda untuk direduksi, sehingga pada sel galvani elektron bergerak dari anoda ke katoda (Bird, 1993).

7. Potensial Elektroda

Arus listrik yang terjadi pada sel volta disebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif ke elektroda positif. Hal ini disebabkan karena perbedaan potensial antara kedua elektroda. Misalnya mengukur perbedaan potensial (V) antara dua elektroda dengan menggunakan potensiometer ketika arus listrik yang dihasilkan mengalir sampai habis. Maka akan diperoleh perbedaan potensial saat arus listriknya nol yang disebut sebagai potensial sel (E° sel). Perbedaan potensial yang diamati bervariasi dengan jenis bahan elektroda dan konsentrasi serta

temperatur larutan elektrolit. Sebagai contoh untuk sel Daniell, jika diukur dengan potensiometer beda potensial pada suhu 25 °C saat konsentrasi ion Zn^{2+} dan Cu^{2+} sama adalah 1,10 volt. Jika elektroda Cu^{2+} dalam sel Daniell diganti dengan elektroda Ag/Ag^+ , potensial sel adalah 1,56 volt. Jika dengan berbagai kombinasi elektroda dapat menghasilkan nilai potensial sel yang sangat bervariasi (Anderson dkk., 2010).

Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif. Bahan elektroda yang ideal adalah yang memiliki konduktivitas yang tinggi, luas permukaan spesifik yaitu luas permukaan per unit berat sebesar mungkin untuk penyerapan (Oren, 2007).

Ketika dua buah konduktor seperti Cu-Zn dan C-Zn terhubung melalui larutan dengan konsentrasi pembawa muatan positif dan negatif tidak seimbang, sehingga di kedua ujung konduktor tersebut terdapat beda potensial. Sistem ini dikenal dengan sel Volta. Di kedua ujung konduktor terjadi reaksi redoks secara terus menerus, maka terjadi pertukaran pembawa muatan dari elektroda ke larutan elektrolit, maupun sebaliknya yaitu dari larutan elektrolit ke elektroda, yang menyebabkan aliran pembawa muatan (arus listrik) pada rangkaian tertutup pada kedua elektroda tersebut. Gaya gerak listrik dari sel merupakan hasil perubahan energi kimia melalui reaksi redoks (Landis, 1909). Energi listrik yang dihasilkan dari sel Volta bergantung pada jenis larutan dan elektroda baik jenis material maupun modifikasi dimensi elektroda.

Potensial elektroda hanya dapat dinyatakan terhadap potensial elektroda pasangannya. Untuk membandingkan besar elektroda dari berbagai jenis logam maka digunakan potensial standar hidrogen. Potensial standar hidrogen ditunjukkan pada Persamaan 2.3.



Hasil pengukuran potensial elektroda berbagai logam terhadap hidrogen (H_2) dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Nilai potensial reduksi deret Volta.

Reaksi Reduksi	Logam	E° (volt)
$\text{Li}^+ + \text{e}^-$	Li	-3.04
$\text{K}^+ + \text{e}^-$	K	-2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^-$	Ba	-2.90
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$	Ca	-2.87
$\text{Na}^+ + \text{e}^-$	Na	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	Mg	-2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	Al	-1.66
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Mn	-1.18
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Zn	-0.76
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	Cr	-0.71
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	Fe	-0.44
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$	Cd	-0.40
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	Co	-0.28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	Ni	-0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Sn	-0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	Pb	-0.13
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	H_2	0.00
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Sn^{2+}	+0.13
$\text{Bi}^{3+} + 3\text{e}^-$	Bi	+0.30
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	Cu	+0.34

Ag^+	+	e^-	Ag	+0.80
Pt^{2+}	+	$2e^-$	Pt	+1.20
Au^{3+}	+	$3e^-$	Au	+1.50

Sumber : Silbergberg, 2000.

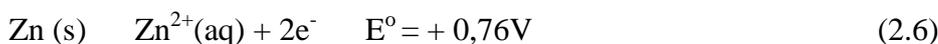
Nilai potensial deret Volta pada Tabel 2.4 menunjukkan bahwa potensial elektroda Cu terhadap Zn dapat dihitung dengan Persamaan 2.5.

$$E^{\circ}_{\text{sel}} = E^{\circ}_{\text{katoda}} - E^{\circ}_{\text{anoda}} \quad (2.5)$$

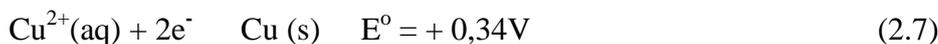
Jadi E°_{sel} adalah sebesar $0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = 1,10 \text{ V}$ (Brady, 1999).

Elektroda seng dan tembaga dihubungkan, maka elektron mengalir dari seng ke tembaga. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan 2.6 dan 2.7.

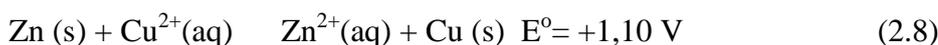
Oksidasi pada elektroda seng



Reduksi pada elektroda tembaga



Jumlah kedua setengah reaksi di atas adalah



Jika kedua elektroda dihubungkan dengan alat pengukur tegangan dan tidak ada arus yang keluar dari sel maka terdapat perbedaan potensial 1,10 V. Potensial tersebut disebut Daya Gerak Listrik (DGL). Perbedaan potensial dalam suatu sel merupakan ukuran perbedaan kedua elektroda untuk “mendorong” elektron ke rangkaian luar yang merupakan “tekanan” listrik dalam menggerakkan elektron dari suatu elektroda ke elektroda lain (Hiskia, 1992).

Pada deret Volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif, semakin mudah melepas elektron dan logam merupakan reduktor yang kuat dan mudah mengalami oksidasi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret Volta, maka logam semakin kurang reaktif, semakin sulit melepas elektron dan logam merupakan oksidator yang kuat dan mudah mengalami reduksi (Aristian, 2016).

8. Elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)

Tembaga atau *cuprum* merupakan salah satu unsur kimia yang dilambangkan dengan Cu. Tembaga adalah unsur logam yang berbentuk kristal dengan warna kemerahan dan mempunyai titik didih 2600°C serta titik leleh 1080°C . Selain itu, tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Biasanya digunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam-logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn (Vliet dkk, 1984). Sifat fisis mekanik dan sifat panas dari tembaga murni ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni

Sifat Fisis	Satuan
Densitas	8920 kg/m ³
Sifat Mekanik	
Kuat tarik	200 N/mm ²
Modulus elastisitas	130 Gpa
Brinnel hardness	874 MN m ⁻²
Sifat Panas	
Koefisien ekspansi thermal	16,5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Konduktivitas thermal	400 W/mK

Seng atau *zinc* merupakan unsur kimia dengan lambang kimia Zn. Mineral yang mengandung seng di alam bebas antara lain kalaminit, franklinit, smithsonit, wellenit dan zinkit. Logam ini cukup mudah ditempa dan lipat pada suhu 110-150° C. Seng melebur pada temperatur 410° C dan mendidih pada temperatur 906° C. Seng adalah unsur yang paling melimpah dikerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Bijih seng yang paling banyak ditambang adalah seng sulfida. Pelapisan seng pada baja untuk mencegah perkaratan merupakan aplikasi utama seng, aplikasi lainnya meliputi penggunaannya pada baterai. Terdapat berbagai jenis senyawa seng yang dapat ditemukan, seperti seng karbonat dan seng glukonat (suplemen makanan), seng klorida (pada deodoran), seng piriton (pada sampo anti ketombe), seng sulfida (pada cat berpendar), dan seng metil ataupun seng dietil di laboratorium organik.

Seng merupakan logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Seng dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam (Widiowati dkk, 2008).

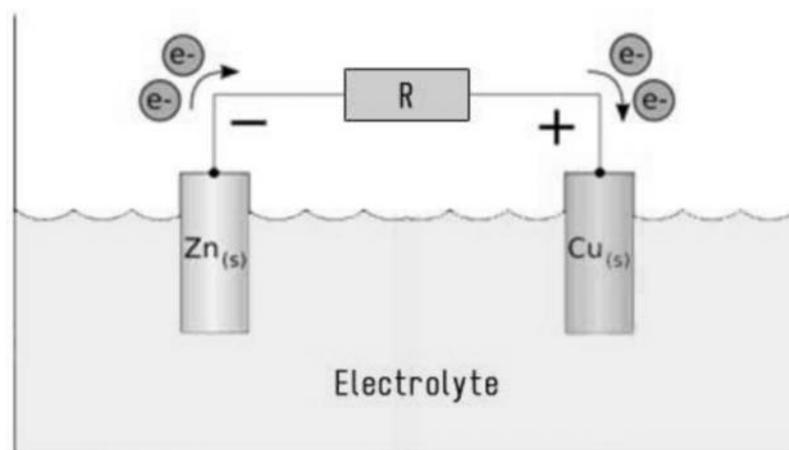
Pada rangkaian elektrokimia, elektroda dibagi menjadi dua bagian, yaitu katoda seperti tembaga (Cu) dan anoda seperti seng (Zn). Elektroda seperti Cu dan Zn merupakan kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia. Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif menarik ion negatif dan elektroda negatif menarik ion positif. Bahkan elektroda yang ideal memiliki konduktivitas tinggi, luas permukaan spesifik yaitu luas permukaan per unit berat sebesar mungkin untuk penyerapan (Oren, 2007).

9. Baterai

Baterai adalah suatu alat elektrokimia yang dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi kimia kelistrikan. Baterai menyimpan tenaga kimia (bukan elektrik) dan dapat mengadakan reaksi antar bahan-bahan kimia di dalamnya dengan cara sedemikian hingga menimbulkan aliran elektron (Wasito, 2001). Baterai menghasilkan energi listrik dengan melibatkan transfer elektron melalui suatu media yang bersifat konduktif dari dua elektroda (anoda dan katoda) sehingga menghasilkan arus listrik dan beda potensial. Komponen utama pada baterai terdiri dari elektroda dan elektrolit. Bahan dan luas permukaan elektroda mampu mempengaruhi jumlah beda potensial yang dihasilkan. Setiap bahan elektroda memiliki tingkat potensial elektroda (E°) yang berbeda-beda, semakin besar luas permukaan elektroda maka semakin banyak elektron yang dioksidasi (Kartawidjaja, 2008).

Elektrolit atau konduktor ionik yaitu sebagai penyedia sarana untuk mentransfer ion. Elektrolit terdiri dari elektrolit cair dan elektrolit padat. Jenis elektrolit cair

memiliki kelemahan diantaranya rentan terhadap kebocoran dan mudah terbakar, sedangkan elektrolit padat cenderung lebih aman, mudah dipakai, bebas dari kebocoran dan dapat dibuat dengan dimensi lebih kecil. Prinsip kerja baterai dapat dilihat pada Gambar 2.3 yang menggunakan prinsip elektrokimia dengan memanfaatkan proses redoks. Dalam proses kerjanya, elektroda negatif (anoda) akan mengalami reaksi oksidasi sehingga elektron yang berada pada permukaan anoda akan terlepas dan dibawa oleh ion elektrolit menuju elektroda positif (katoda). Transfer elektron oleh ion elektrolit ini kemudian akan menghasilkan beda tegangan dan arus listrik jika dihubungkan dengan komponen elektronika seperti dioda, resistor atau kapasitor (Kartawidjaja dkk., 2008).



Gambar 2.3. Proses transfer elektron pada baterai (Kartawidjaja, 2008).

Baterai pada umumnya memiliki tiga jenis baterai yaitu sebagai berikut.

a. Baterai Kering

Baterai kering ditemukan oleh Leclanche yang mendapat hak paten atas penemuan itu pada tahun 1866. Sel Leclanche terdiri atas suatu silinder Zn yang

berisi pasta dari campuran batu kawi, salmiak, karbon dan sedikit air (sl ini tidak 100% kering) yang berfungsi sebagai anoda, sedangkan elektroda *inert* yaitu grafit yang dicelupkan ditengah-tengah pasta digunakan sebagai katoda yang berfungsi sebagai oksidator. Potensial suatu sel Leclanche adalah 1,5 volt, sel ini disebut sel kering asam karena adanya NH_4Cl yang bersifat asam. Sel Leclanche tidak dapat diisi ulang (Bird, 1993).

b. Baterai Alkalin

Baterai kering jenis alkalin pada dasarnya sama dengan sel Leclanche, tetapi bersifat basa karena menggunakan KOH menggantikan NH_4Cl dalam pasta. Potensial dari baterai alkalin juga sebesar 1,5 volt, tetapi baterai ini bertahan lebih lama (Bird, 1993).

c. Baterai Litium

Baterai litium telah mengalami berbagai penyempurnaan. Baterai litium yang kini banyak digunakan adalah baterai litium ion. Baterai litium ion tidak menggunakan logam litium, tetapi menggunakan ion litium. Ketika ion litium digunakan, ion litium berpindah dari satu elektroda ke elektroda lainnya melalui suatu elektrolit, ketika diisi, aliran ion litium dibalik (Bird, 1993).

10. Fermentasi

Fermentasi dapat didefinisikan sebagai suatu proses oksidasi anaerobik atau partial anaerobik karbohidrat yang menghasilkan alkohol serta beberapa asam, namun banyak proses fermentasi yang menggunakan substrat protein dan lemak

(Muchtadi dkk, 2010). Proses fermentasi dibutuhkan starter sebagai mikroba yang akan ditumbuhkan dalam substrat. Starter merupakan populasi mikroba dalam jumlah dan kondisi fisiologis yang siap diinokulasikan dengan media fermentasi. Fermentasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu fermentasi spontan dan fermentasi tidak spontan (membutuhkan starter). Fermentasi spontan adalah fermentasi yang tidak ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi dalam proses pembuatannya. Sedangkan fermentasi tidak spontan adalah fermentasi yang ditambahkan starter atau ragi dalam proses pembuatannya sehingga proses fermentasi berlangsung lebih cepat. Mikroorganisme tumbuh dan berkembang secara aktif merubah bahan fermentasi menjadi produk yang diinginkan pada proses fermentasi (Suprihatin, 2010). Faktor yang mempengaruhi proses fermentasi yaitu suhu, pH awal fermentasi, inokulum, substrat, dan kandungan nutrisi medium (Hidayat dkk, 2006).

Hasil fermentasi diperoleh sebagai akibat metabolisme mikroba-mikroba pada suatu bahan pangan dalam keadaan anaerob. Mikroba yang melakukan fermentasi membutuhkan energi yang umumnya diperoleh dari glukosa. Dalam keadaan aerob, mikroba mengubah glukosa menjadi air, CO₂ dan energi (ATP). Pada beberapa mikroba hanya dapat melangsungkan metabolisme dalam keadaan anaerob dan menghasilkan substrat setengah terurai. Hasil penguraian tersebut adalah air, CO₂, energi, dan sejumlah asam organik lainnya seperti asam laktat, asam asetat, asam etanol, serta bahan-bahan organik lainnya yang mudah menguap (Muchtadi dkk, 2010). Pada fermentasi glukosa prinsipnya terdiri dari dua tahap yaitu tahap pertama pemecahan rantai karbon dari glukosa dan pelepasan atom hidrogen dan menghasilkan senyawa karbon lainnya yang lebih

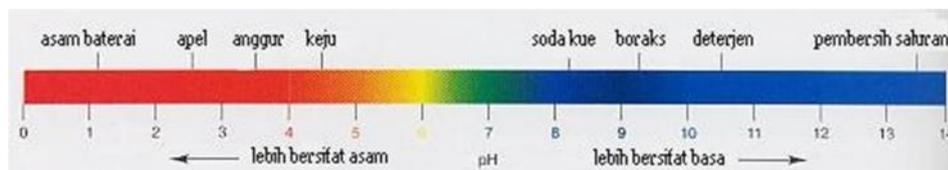
teroksidasi daripada glukosa. Kemudian tahap kedua adalah senyawa yang teroksidasi direduksi kembali oleh atom hidrogen yang dilepaskan dalam tahap pertama dan membentuk senyawa-senyawa lain sebagai hasil fermentasi (Fardiaz, 1989).

11. Derajat Keasaman (pH)

Asam sebagai senyawa yang apabila dilarutkan dalam air akan membebaskan ion hidrogen (H^+). Menurut Bronsted dan Lowry, asam merupakan senyawa yang dapat memberikan proton pada spesies lain. Sedangkan Lewis berpendapat bahwa asam adalah suatu senyawa yang dapat menerima sepasang elektron. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat keasaman antara asam dengan pengoksidasi, dimana keduanya cenderung untuk menarik elektron. Dinamakan dengan *elektrofilik* atau *electron attracting agent*. Asam akan menerima pasangan elektron dari basa untuk membentuk ikatan kovalen, sedangkan pengoksidasi menerima elektron (Bird, 1987).

Pada dasarnya tingkat keasaman suatu larutan bergantung pada konsentrasi ion H^+ dalam larutan. Makin besar konsentrasi ion H^+ makin asam larutan tersebut. Umumnya konsentrasi ion H^+ sangat kecil, sehingga untuk menyederhanakan penulisan, seorang kimiawan dari Denmark bernama Sorrensen mengusulkan konsep pH untuk menyatakan konsentrasi ion H^+ . Nilai pH sama dengan negatif logaritma konsentrasi ion H^+ dan secara matematika diungkapkan dengan pH. Selain itu, pH yang merupakan konsentrasi ion hidronium dalam larutan ditunjukkan dengan skala secara matematis dengan *range* 0 sampai 14 dapat

dilihat pada Gambar 2.4. Skala pH merupakan suatu cara yang tepat untuk menggambarkan konsentrasi ion-ion hidrogen dalam larutan yang bersifat asam, dan konsentrasi ion-ion hidroksida dalam larutan.



Gambar 2.4. Skala pH dari 0 sampai 14 (Sugiarto, 2004).

Berdasarkan Gambar 2.4 menunjukkan bahwa skala keasaman terbagi menjadi tiga daerah untuk beberapa larutan dengan pH yang berbeda. Larutan yang mempunyai nilai pH sama dengan 7, maka larutan tersebut dikatakan netral. Jika larutan memiliki nilai kurang atau lebih dari 7, maka larutan tersebut bersifat asam atau basa (Sugiarto, 2004). Persamaan matematis untuk menyatakan pH adalah sebagai berikut.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (2.9)$$

12. Besaran Listrik

Listrik adalah suatu muatan yang terdiri dari muatan positif dan muatan negatif. Sebuah benda dikatakan memiliki energi listrik apabila suatu benda itu mempunyai perbedaan jumlah muatan. Dalam kelistrikan dikenal beberapa besaran listrik yang penting untuk diketahui diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan yang mengalir tiap satuan waktu yang diukur dalam satuan ampere (Bakshi, 2009). Arus listrik adalah muatan yang

bergerak, dimana muatan listrik dapat mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Konduktor dibagi menjadi tiga jenis, yaitu konduktor padat dengan pembawa muatan adalah elektron bebas, konduktor cair dengan pembawa muatan ion positif dan ion negatif, dan konduktor gas dengan pembawa muatan adalah ion positif dan elektron. Elektron bebas dan ion dalam konduktor bergerak karena disebabkan pengaruh medan listrik. Jika dalam waktu t telah lewat sejumlah q muatan maka arus listrik I yang mengalir secara matematis dinyatakan dalam Persamaan 2.10 berikut.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (2.10)$$

dengan q adalah banyaknya muatan yang mengalir untuk selang waktu t yang sangat kecil. Untuk arus searah, jumlah muatan yang mengalir melalui penampang kawat atau konduktor adalah konstan sehingga dapat dituliskan dalam Persamaan 2.11.

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.11)$$

dengan q adalah banyaknya muatan listrik (C), I adalah kuat arus (A), dan t adalah waktu (s). Arus listrik dalam satuan SI adalah coulomb per sekon (C/s) yang lebih dikenal dengan Ampere (A), diambil dari nama seorang fisikawan perancis bernama Andre Marie Ampere. Besaran kuat arus I termasuk besaran pokok sedangkan muatan q dan waktu t adalah besaran turunan (Aristian, 2016).

b. Tegangan Listrik atau Beda Potensial

Beda potensial atau disebut juga tegangan listrik adalah banyaknya energi listrik yang diperlukan untuk mengalirkan setiap muatan listrik dari ujung-ujung penghantar yang diukur dalam satuan volt (V). Tegangan dapat juga diartikan sebagai *joule per coulomb*. Misalkan sebuah baterai memiliki tegangan sebesar 12,6 V, itu berarti setiap muatan 1 *coulomb* menyediakan energy 12,6 *Joule*. Jika sebuah lampu dihubungkan ke baterai tersebut maka setiap muatan 1 *coulomb* yang mengalir melalui lampu akan mengkonversi energy sebesar 12,6 *Joule* menjadi energi panas dan energi cahaya. Dengan demikian persamaan untuk menentukan besarnya tegangan ditunjukkan pada Persamaan 2.12 (Aristian, 2016).

$$V = \frac{W}{Q} \quad (2.12)$$

Dengan V = tegangan (V), W = energi (J), dan Q = muatan (C).

c. Daya Listrik

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau *Joule per second*, yang diukur dalam satuan watt (W). Daya listrik dirumuskan dengan Persamaan 2.13 dan 2.14 (Aristian, 2016).

$$P = W/t \quad (2.13)$$

$$W = P t \quad (2.14)$$

Keterangan : P = daya (W);

W = energi (J);

t = waktu (s).

d. Energi Listrik

Energi listrik didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan selama waktu tersebut (Thompson, 2006). Satuan SI untuk energi listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan kiloWatt-hour (kWh). Pada sebuah rangkaian listrik, hubungan antara arus dan tegangan dijelaskan dengan Hukum Ohm dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan. Hambatan yang dimaksud adalah hambatan pada rangkaian yang dapat menghalangi aliran arus. Hambatan dinotasikan dengan huruf R dan diukur dalam satuan ohm (Ω). Hubungan antara arus, tegangan, dan hambatan ditunjukkan pada Persamaan 2.15, 2.16 dan 2.17.

$$I = V/R \quad (2.15)$$

$$R = V/I \quad (2.16)$$

$$V = IR \quad (2.17)$$

Keterangan : I = arus (A);
 V = tegangan (V);
 R = hambatan (Ω).

Selanjutnya hubungan arus, tegangan dan daya dijelaskan dengan Persamaan 2.18 - 2.21 (Thompson, 2006).

$$P = V I \quad (2.18)$$

$$P = I^2 R \quad (2.19)$$

$$I = P/V \quad (2.20)$$

$$V = P/I \quad (2.21)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan September 2018 sampai dengan bulan November 2018 di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan untuk mendukung proses pengambilan data. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Multimeter digital, merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur karakteristik elektrik dari baterai onggok singkong.
2. pH meter, merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau pH dari fermentasi onggok singkong.
3. Tang, digunakan untuk memotong baterai, tembaga dan kabel.
4. Solder, digunakan untuk merakit rangkaian elektronik.
5. Timbangan, digunakan untuk menimbang pasta onggok singkong.

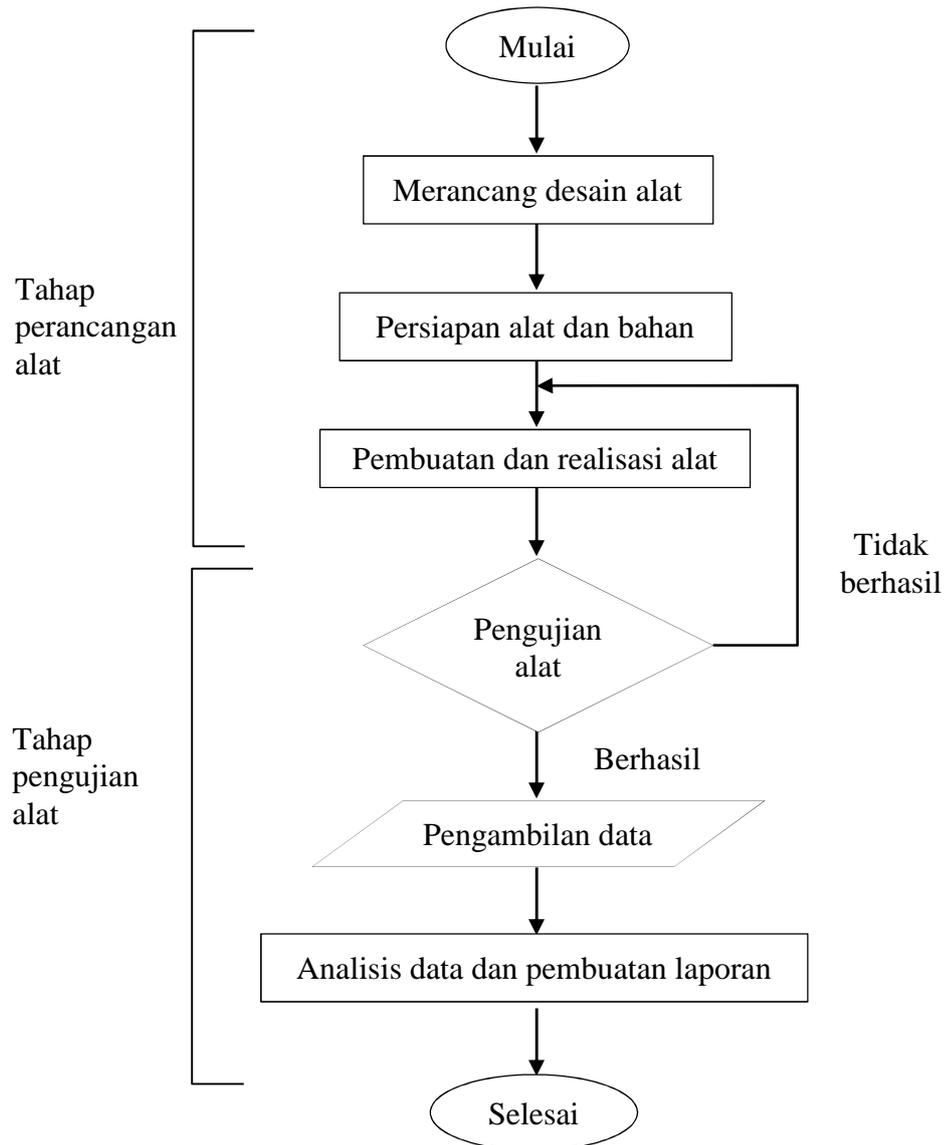
Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Onggok singkong, digunakan sebagai elektrolit pengganti pasta baterai dan sebagai bahan uji untuk menguji karakteristik elektriknya.
2. Baterai silinder dry cell merk ABC tegangan 1,5 volt, digunakan sebagai media penampungan onggok singkong yang akan diuji dan sebagai elektroda negatif (seng).
3. Tembaga, digunakan sebagai elektroda dan pengganti dari batang karbon pada baterai dan sebagai elektroda positif.
4. Kabel, timah dan penjepit buaya, digunakan untuk menghubungkan antar bio-baterai onggok singkong.
5. Lampu LED DC 12 volt 7 watt, digunakan untuk menguji keberadaan karakteristik elektrik onggok singkong.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menguji karakteristik elektrik yang terdapat dalam pasta bio-baterai onggok singkong dengan menggunakan elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn). Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu tahap perancangan alat dan tahap pengujian alat untuk mengetahui karakteristik elektrik onggok singkong. Tahapan-tahapan dari penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir penelitian (Gambar 3.1) berikut.

Pada penelitian ini akan didesain sebuah alat penghasil energi alternatif dengan menggunakan media penampung dari baterai. Selain itu, pada penelitian ini juga elektrolit pada baterai yaitu mangan oksida akan diganti dengan pasta onggok singkong dan elektroda yang digunakan adalah Cu-Zn.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

Pembuatan media uji terbuat dari baterai silinder jenis dry cell untuk menampung ongkok singkong. Baterai tersebut dibongkar dan dikeluarkan pasta mangan oksida pada baterai. Kemudian baterai dibersihkan menggunakan aquades, lalu dipasangkan kabel pada bagian bawah baterai dengan cara disolder. Selanjutnya ongkok singkong yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari limbah pengolahan tepung tapioka (ongkok) dari PT. Darma Agrindo. Kemudian ongkok singkong dibuat pasta dengan menambahkan sedikit aquades dan dibagi dalam 4

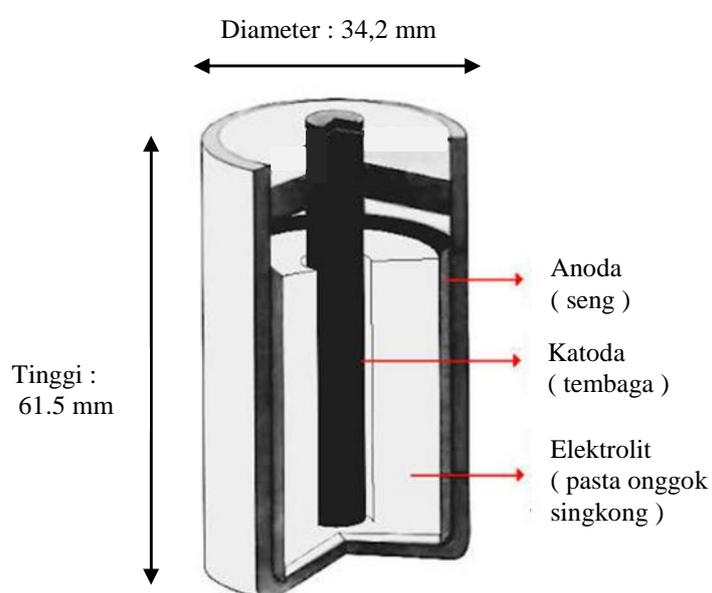
wadah yaitu 1 wadah onggok singkong langsung dilakukan pengujian karakteristik elektrik dan 3 wadah onggok singkong difermentasi atau didiamkan selama 48 jam, 96 jam, dan 144 jam. Lalu onggok singkong yang akan diuji diberi sedikit aquades untuk membetuk pasta onggok singkong dan dimasukkan ke dalam media uji. Selanjutnya elektroda seng (Zn) diletakkan diposisi tengah pada baterai yang telah terisi pasta onggok singkong, lalu baterai dihubungkan secara seri. Kemudian dilakukan pengukuran dan pengambilan data karakteristik elektrik bio-baterai onggok singkong dengan menggunakan multimeter digital.

Data karakteristik elektrik bio-baterai onggok singkong terdiri dari data karakteristik elektrik saat beban dilepas dan saat diberi beban. Beban yang diberikan berupa lampu LED DC 12 volt dengan daya sebesar 7 watt. Pengukuran karakteristik elektrik bio-baterai onggok singkong dilakukan setiap 1 jam sekali dengan 7 kali pengulangan pengukuran selama 12 jam. Selain dilakukan pengukuran karakteristik elektrik onggok singkong, pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran derajat keasaman atau pH pasta onggok singkong pada awal pengujian alat dan pada akhir pengujian alat. Setelah didapatkan data karakteristik elektrik bio-baterai onggok singkong, selanjutnya dilakukan analisis pengaruh lama waktu fermentasi pasta onggok singkong terhadap karakteristik elektrik yang dihasilkan pasta onggok singkong.

1. Tahap Perancangan Alat

Pada tahap ini akan dibuat desain alat untuk media penampung pasta onggok singkong yang terbuat dari baterai bekas sebanyak 40 buah yang akan diuji karakteristik elektriknya. Baterai yang digunakan adalah baterai jenis dry cell

merk ABC R20S IEC/UM-1/D tegangan sebesar 1,5 volt dengan diameter 34,2 mm dan tinggi 61,5 mm. Setiap baterai akan dihubungkan secara seri. Selain baterai, penelitian ini juga menggunakan elektroda Cu-Zn, tembaga (Cu) berfungsi sebagai elektroda positif dan seng/ baterai (Zn) sebagai elektroda negatif. Desain media uji karakteristik elektrik pasta onggok singkong dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2. Rancangan media penampung onggok singkong menggunakan baterai.

2. Tahapan Pengujian Alat

Onggok singkong yang digunakan diperoleh dari limbah pengolahan tepung tapioka (onggok) dari PT. Darma Agrindo. Onggok singkong tersebut dibagi menjadi dua, yaitu onggok singkong baru dan onggok singkong fermentasi. Pengujian alat dilakukan dengan mengisi pasta onggok singkong ke dalam baterai yang telah kosong, kemudian diuji dengan menggunakan beban lampu LED DC

sebesar 7 watt. Setiap desain alat akan diuji karakteristik elektriknya dengan menggunakan pasta onggok singkong baru dan pasta onggok singkong yang terfermentasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa lama lampu LED dapat menyala. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan dan kuat arus dari alat dengan menggunakan multimeter digital. Pengukuran dilakukan pada bio-baterai onggok baru dan bio-baterai onggok fermentasi. Selain itu, pengukuran juga dilakukan dengan memberikan variasi waktu fermentasi, yaitu 48 jam, 96 jam, dan 144 jam. Pengukuran dilakukan setiap 1 jam selama 12 jam. Selain itu, dilakukan pengukuran tingkat keasaman atau pH dari pasta onggok singkong yang terfermentasi untuk mengetahui pengaruh pH terhadap karakteristik elektrik yang dihasilkannya. Rangkaian alat pada penelitian ini menggunakan bio-baterai sebanyak 20 buah yang dihubungkan secara seri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik elektrik pasta onggok singkong terhadap variasi jenis onggok singkong dan variasi lama waktu fermentasi yang dilakukan.

D. Data Hasil Pengamatan

Karakteristik elektrik yang diukur pada penelitian ini adalah tegangan dan kuat arus yang dapat diketahui menggunakan multimeter digital. Data pengamatan pada penelitian ini terdiri dari tegangan saat beban dilepas (V_{bl}) dan tegangan saat diberi beban (V_b) dan arus (I), data perhitungan berupa daya (P) dan hambatan dalam alat (R_{in}), serta data pengukuran tingkat keasaman (pH) dari onggok singkong yang telah difermentasi. Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan rancangan

tabel data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik ongkok singkong baru dan ongkok singkong fermentasi saat beban lepas dan saat diberi beban.

Tabel 3.1. Data pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik ongkok singkong baru saat beban lepas dan saat diberi beban.

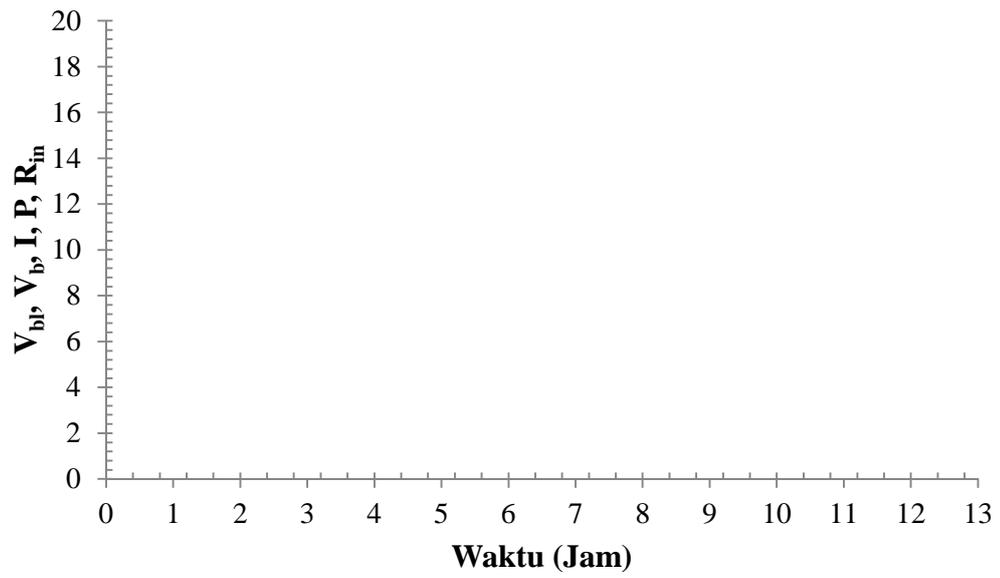
No.	Pukul	Waktu (jam)	V_{bl} (volt)	V_b (volt)	I (mA)	P(mW)	R_{in} (ohm)
1		0					
2		1					
3		2					
..		..					
..		..					
13		12					

Tabel 3.2. Data pengukuran karakteristik elektrik ongkok singkong fermentasi saat beban dilepas dan saat diberi beban.

No.	Pukul	Waktu (jam)	V_{bl} (volt)	V_b (volt)	I (mA)	P(mW)	R_{in} (ohm)
1		0					
2		1					
3		2					
..		..					
..		..					
13		12					

E. Rancangan Grafik Hasil Penelitian

Dari hasil pengamatan dianalisis mengenai pengaruh waktu dan lama waktu fermentasi terhadap tegangan, arus, daya, dan hambatan dalam yang dihasilkan oleh alat. Rancangan analisis data dari penelitian ini akan diplot dalam bentuk grafik seperti digambarkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Grafik pengukuran dan perhitungan karakteristik elektrik ongkok singkong terhadap waktu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Karakteristik elektrik terendah dihasilkan bio-baterai pasta onggok singkong baru, yaitu tegangan saat beban lepas (V_{bl}) 15,16 volt, tegangan saat diberi beban (V_b) 7,55 volt, kuat arus (I) 0,215 mA, dan daya (P) 1,62 mwatt.
2. Karakteristik elektrik tertinggi dihasilkan bio-baterai pasta onggok singkong fermentasi 144 jam, yaitu tegangan saat beban lepas (V_{bl}) 20,30 volt, tegangan saat diberi beban (V_b) 7,75 volt, kuat arus (I) 0,762 mA, dan daya (P) 5,91 mwatt.
3. Semakin lama waktu penyimpanan atau fermentasi pasta onggok singkong menyebabkan pH turun sehingga konduktivitas listrik semakin besar. Hal ini disebabkan karena aktivitas mikroorganisme pada bahan meningkat menyebabkan ion H^+ pada pasta onggok singkong meningkat dan ion CN^- menurun, sehingga ion H^+ bergerak dengan mudah dan mengakibatkan tegangan dan arus yang dihasilkan meningkat.
4. Realisasi alat terdiri dari 20 buah bio-baterai pasta onggok singkong yang dirangkai secara seri dan mampu menghidupkan lampu LED DC 7 watt.

B. Saran

Untuk pengembangan bio-baterai sebagai sumber energi alternatif dapat dilakukan penelitian dengan menggunakan onggok dari jenis singkong lainnya selain onggok singkong kasefar. Penambahan bio-baterai juga diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja alat, sehingga mampu menghasilkan daya listrik yang lebih optimal. Selain itu, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pemilihan metode fermentasi tidak spontan dimana perlu penambahan substrat atau ragi untuk mempercepat proses fermentasinya. Kemudian dianalisis pengaruh metode fermentasi tidak spontan dan penurunan nilai pH terhadap karakteristik elektrik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrian, F.A., Liman, dan Tantalo, S. 2014. Survei Populasi Kapang dan Kadar HCN pada Onggok dengan Proses Pengeringan yang Berbeda di Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*. Vol. 2(2): 70-74.
- Anderson, M.A., Cudero, A., and Palma, J. 2010. *Capacitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water*. *Electrochimica Acta*. Pp. 3845-3856.
- Aristian, J. 2016. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrik Berbasis Elektrolit Air Laut sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (*Sustainable Energy*). *Skripsi*. Lampung: Universitas Lampung.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2015. *Produksi Ubi Kayu Menurut Provinsi (ton), 1993-2015*. Jakarta: BPS.
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Brady, James E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Sukmariah Maun. Tangerang: Binarupa Aksara Publisher.
- Chang, R. 2003. *General Chemistry: The essential Concepts*. Diterjemahkan oleh Suminar Setiadi Achmadi, Ph. D. Jakarta: Erlangga.
- Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Lampung. 2003. *Produksi Ubi kayu Provinsi Lampung 2001*. Bandar Lampung: Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Lampung.
- Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Diterjemahkan oleh Umar Mansyur. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Effendi, H. 2000. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fardiaz, S. 1989. *Mikrobiologi Pangan*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi, IPB.

- Hendri, J. 1999. Kondisi Optimum Pembuatan Selulosa Nitrat dari Onggok. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 5 (1): 5-10.
- Hendri, Yasni N., Gusnedi, dan Ratnawulan. 2015. Pengaruh Jenis Kulit Pisang dan Variasi Waktu Fermentasi terhadap Kelistrikan dari Sel *Accu* dengan Menggunakan Larutan Kulit Pisang. *Jurnal Pillar of Physics*. Padang: Universitas Negeri Padang. Vol. 6: 97-104.
- Hidayat, N., Padaga, M.C., dan Suhartini, S. 2006. *Mikrobiologi Industri*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Hiskia, A. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Irsan, Amir S., dan Arif S. 2016. Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta Crantz*) sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan untuk Mengisi Baterai *Handphone*. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Lampung: Universitas Lampung. Vol. 5(1): 9-18.
- Kartawidjaja, M., Abdurrochman, A., dan Rumeksa, E. 2008. Pencarian Parameter Bio-Baterai Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II*. Lampung: Universitas Lampung.
- Khairiah, dan Rita D. 2017. Analisis Pengaruh Penambahan Massa Ragi dan Lama Waktu Proses Fermentasi terhadap Nilai Tegangan Listrik Pasta Limbah Kulit Durian (*Durio Zibethinus*). *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*. Medan: Universitas Muslim Nusantara Alwashliyah Medan. Vol. 1(2): 16-22.
- Landis, E. H. 1909. Some of The Laws Concerning Voltaic Cells. *The Journal of the Franklin Institute of the State of Pennsylvania*. Vol. CLXVIII, No. 6: 399-420.
- Muchtadi, T. R., dan F. Ayustaningwarno. 2010. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Bandung: Alfabeta.
- Suprihatin. 2010. *Teknologi Fermentasi*. Surabaya: UNESA University Press.
- Muhlisin, M., Soedjarwanto, N., dan Komarudin, M. 2015. Pemanfaatan Sampah Kulit Pisang dan Kulit Durian sebagai Bahan Alternatif Pengganti Pasta Batu Baterai. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. Lampung: Universitas Lampung. Vol. 9(3): 137-146.
- Nurhasanah, B. P. 1993. *Penanganan Limbah Cair Industri Kecil Tapioka*. Jakarta: Yayasan Bina Karta Lestari (Bintari).

- Oren, Y. 2007. *Capacitive Deionization (CDI) for Desalination and Water Treatment Past, Present and Future (a Review)*, *Desalination*. No. 228, hal. 10-29.
- Pramono, Sigit S. 2004. *Studi Mengenai Komposisi Sampah Perkotaan di Negara-Negara Berkembang*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Rukmana, R. 1986. *Ubi Kayu, Budidaya, dan Pasca Panen*. Jakarta: Kanisius.
- Santoso, B. 1998. *Pupuk Kompos*. Yogyakarta: Kanisius.
- Silbergberg, Martin S. 2000. *Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change*. New York: Mcgraw Hill Education.
- Sugiarto, B. 2004. *Ikatan Kimia*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Tjokroadikoesoemo. 1985. *HPS dan Industri Ubi Kayu Lainnya, Edisi 2*. Jakarta: Gramedia.
- Vliet, T. V., C.M.M Lakemond, dan Visschers, R.W. 1984. *Rheology and Structure of Milk Protein Gels. Current Opnion Colloid Interface Science*. England: Horwood Ltd.
- Wang, Joseph. 2000. *Analytical Electrochemistry, 2nd edition*. USA: A John Willey & Son. Inc.
- Wasito, s. 2001. *Vademakum Elektronika*. Jakarta: Gramedia.
- Widiowati, W., Sastiono, A., dan Jusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Andi.
- Zoski, Cynthia G. 2007. *Handbook of Electrochemistry*. Elsevier B. V. Amsterdam: all rights reserved. Pp 21.