

**ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK LIMBAH KULIT SINGKONG
BERBENTUK PASTA SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
ALTERNATIF TERBARUKAN**

(Skripsi)

**Oleh
TRI SUTANTO**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK LIMBAH KULIT SINGKONG BERBENTUK PASTA SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF TERBARUKAN

Oleh

TRI SUTANTO

Karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dapat diketahui dengan menggunakan pasangan elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn). Pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dilakukan dengan menggunakan beban LED 5 watt dan saat beban dilepas. Kulit singkong dan singkong yang digunakan tanpa fermentasi dan dengan fermentasi. Sel elektrolit yang digunakan terdiri dari 20 sel, yang dirangkai secara seri dan paralel, dengan volume ± 200 ml per sel. Daya maksimum yang dihasilkan kulit singkong 5.8597 mW, dan 14.1052 mW pada singkongnya. Elektroda Zn₂ (seng baterai bekas) menghasilkan daya yang lebih besar, yaitu 5.8597 mW dibandingkan dengan Zn₁ (seng biasa) yaitu 1.9902 mW. Kulit singkong tanpa fermentasi menghasilkan tegangan yang lebih besar yaitu 20.76 volt, dibandingkan dengan kulit singkong dengan fermentasi yaitu 19.17 volt. Pada kulit singkong, daya rangkaian sel secara seri lebih besar yaitu 5.8597 volt, dibandingkan daya rangkaian secara paralel yaitu 5.7078 volt.

Kata Kunci: *Elektroda Cu-Zn, fermentasi, kulit singkong.*

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS CASSAVA FEEL WASTE SHOES AS AN ALTERNATIVE POWER RENEWABLE ENERGY SOURCE

By

TRI SUTANTO

The electrical characteristics of cassava peel and cassava can be determined by using a pair of electrode copper (Cu) and zinc (Zn). The measurement of the electrical characteristics of cassava peel had been done using a 5 watt LED load and when the load is released. Cassava peel and cassava are used without fermentation and with fermentation. Electrolyte cell that used consists of 20 cells, which were arranged in series and parallel, with volume \pm 200 ml for one cell. The maximum power generated cassava peel 5.8597 mW, and 14.1052 mW on cassava. Zn₂ electrode (zinc battery used) produces a larger power, which is 5.8597 mW compared with Zn1 (ordinary zinc) is 1.9902 mW. Cassava peel without fermentation produces a larger voltage of 20.76 volts, compared with cassava peel 19.17 volts of fermentation. In cassava peel, circuit cell power in series a larger of 5.8597 volts, compared with circuit power in parallel is 5.7078 volts.

Keywords: *Cu-Zn electrode, Fermentation, Cassava peel.*

**ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK LIMBAH KULIT SINGKONG
BERBENTUK PASTA SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
ALTERNATIF TERBARUKAN**

Oleh

Tri Sutanto

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

**Judul Skripsi : ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK
LIMBAH KULIT SINGKONG BERBENTUK
PASTA SEBAGAI SUMBER ENERGI
LISTRIK ALTERNATIF TERBARUKAN**

Nama Mahasiswa : Tri Sutanto

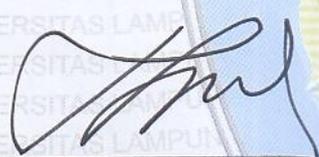
Nomor Pokok Mahasiswa : 1317041047

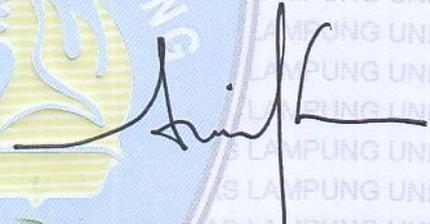
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

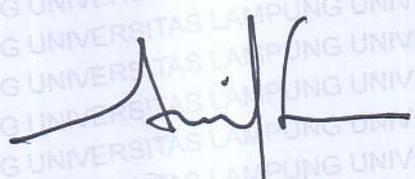
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


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


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

2. Ketua Jurusan

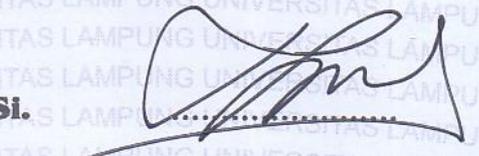

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

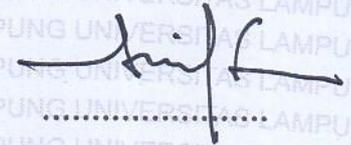
Ketua

: Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



Sekretaris

: Arif Surtoto, S.Si., M.Si., M.Eng



Penguji

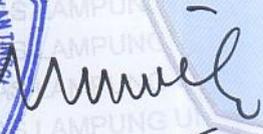
Bukan Pembimbing : Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.
NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 07 Juni 2018

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya 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, 07 Juni 2018



Tri Sutanto
NPM. 1317041047

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Tri Sutanto dilahirkan di Seputih Banyak, Lampung Tengah pada tanggal 2 Januari 1995, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Mujiyo dan Ibu Wontinah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Sri Basuki pada 2007, SMP

Muhammadiyah 01 Seputih Banyak pada tahun 2010, dan SMAN 1 Seputih Banyak pada tahun 2013.

Pada tahun 2013 penulis masuk dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Sains Dasar, Asisten Praktikum Fisika Dasar II, Asisten Praktikum Fisika Eksperimen. Penulis pernah mengikuti lomba IARC di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada April tahun 2015. Penulis pernah aktif di kegiatan kampus antara lain sebagai Anggota Bidang Minat dan Bakat di UKM Himafi FMIPA Unila periode 2014-2015, sebagai Sekertaris Departemen Hardware dan Software di Physics Instrument Club (PIC) periode 2015-2016, selain itu penulis

juga pernah menjabat dan aktif sebagai Kepala Bidang Minat dan Bakat di UKM Himafi FMIPA Unila periode 2015-2016.

Penulis pernah melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PLTU Pelabuhan Tarahan 2X8 MW PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. Bandar Lampung pada Juli-Agustus tahun 2016. Penulis melakukan KKN di Kampung Suka Negeri, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah pada Januari-Februari tahun 2017.

MOTTO

“Matí Díjalan Allah SWT”

*“Jika Tidak Bisa Menjadi Orang Yang
Pandai, Jadilah Orang Yang Baik”*

*“Menjadi Seseorang yang
Bermanfaat untuk
Orang Lain”*

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah

Rasa Syukur Kepada Allah SWT

Karya Ini Kupersembahkan Untuk Orang-Orang Yang

Ku Cintai dan Ku Sayangi

Karena Allah SWT

Bapak Mujiyo & Ibu Wontinah

Kedua orang tua yang telah banyak berkorban tanpa lelah dan memberikan do'a yang tiada henti hingga dapat menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas untuk keberhasilan dan kesuksesan anaknya

Bapak-Ibu guru serta Bapak-Ibu dosen

Terima kasih atas bekal ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati serta wawasanku

Kakak dan Adik Tingkat serta Fisika 2013

Terima kasih atas saran dan kebaikan kalian serta kebersamaan yang kita lalui

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong Berbentuk Pasta Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas serta kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca untuk perbaikan dimasa mendatang. Dalam penulisan skripsi ini penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjaan penelitian, pengambilan data dan penyelesaian skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 07 Juni 2018

Penulis,

Tri Sutanto

SANWACANA

Dengan rasa syukur dan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan dan bersedia meluangkan waktu selama penulis melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
2. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, nasehat, dan saran dalam penyusunan skripsi ini dan selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas dukungan dalam proses akademik.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Penguji yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran kepada penulis dalam menyempurnakan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan nasehat dan motivasi.
5. Bapak Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D., selaku Dekan FMIPA Unila.
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu melalui pengajaran dan nasehat.

7. Ayah, Ibu, mamasku yang telah mendukung dan mendoa'akan. Terimakasih untuk pengorbanan yang telah diberikan.
8. Kawan-kawan semua angkatan 2013, Kak Irsan, Kak Encep, Kak Jono, Kak Abdan, Kak Manto, Kak Hendri, Kak Jovi, Kak Randha, Kak Muji, Kak Mardi, Kak Akhfi, dan adik tingkat yang telah memberikan perhatian dan masukan yang membangun terimakasih atas semangat, dukungan dan semua bantuan yang telah diberikan.
9. Yudistia Evalani terimakasih atas semangat, dukungan, bantuan, dan doa yang diberikan bagi penulis.
10. Seluruh pihak yang telah ikut serta membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak orang. Aamiin.

Bandar Lampung, 07 Juni 2018

Penulis

Tri Sutanto

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWANCANA	
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu	6
B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	7
C. Teori Dasar.....	7
a. Singkong (<i>Manihot esculenta Crantz</i>)	7
b. Penyebab Kulit Singkong Menghasilkan Arus Listrik.....	10
c. Derajat Keasaman (pH)	12
d. Elektrokimia	13
1. Jenis-Jenis Sel Elektrokimia	14
2. Deret Elektrokimia (Deret Volta)	18
3. Potensial Sel Volta	19
e. Sel Galvani	20
f. Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit.....	21
g. Elektroda	22
1. Jenis-Jenis Elektroda	23
2. Potensial Elektroda Standar	24
h. Potensial Elektroda.....	24
i. Tembaga (Cu) dan Seng (Zn).....	25
j. Arus dan Rapat Arus	27
k. Hambatan dan Resistivitas	30
l. Resistansi, Reaktansi dan Impedansi	31
1. Resistansi	32
2. Reaktansi	32
3. Impedansi	33
m. Konduktivitas	34
n. Konduktivitas Elektrik	35

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	39
B. Alat dan Bahan.....	39
C. Prosedur Penelitian	40
D. Diagram Alir Penelitian	43
E. Data Hasil Pengamatan	44
F. Rencana Grafik Pengamatan.....	45

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	46
B. Pembahasan.....	48

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan	78
B. Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Skala pH dari 0 sampai 14	13
2.2. Transfer elektron pada baterai dalam	16
2.3. Sebuah kristal tembaga (Cu)	25
2.4. Rapat arus pada penghantar	30
2.5. Konduktivitas cairan atau gas (a), logam (b) dan semikonduktor (c).	35
3.1. Desain lempeng tembaga (Cu) dan seng (Zn)	41
3.2. Desain sel media tempat uji	41
3.3. Media tempat uji	42
3.4. Diagram alir penelitian	43
3.5. Rencana grafik pengukuran dan perhitungan karakteristik kulit singkong atau singkong terhadap waktu	45
4.1. Sel tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong	46
4.2. Rangkaian keseluruhan tempat uji	47
4.3. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong tanpa fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	49
4.4. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong tanpa fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	50
4.5. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong tanpa fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	51

4.6. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong tanpa fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	52
4.7. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	53
4.8. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong tanpa fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	54
4.9. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	55
4.10. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	56
4.11. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	57
4.12. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	58
4.13. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	59
4.14. Grafik hubungan karakteristik elektrik kulit singkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	60
4.15. Grafik hubungan karakteristik elektrik singkong tanpa fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	62
4.16. Grafik hubungan karakteristik elektrik singkong tanpa fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	63
4.17. Grafik hubungan karakteristik elektrik singkong tanpa fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	64

4.18. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong tanpa fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	65
4.19. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong tanpa fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	66
4.20. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong tanpa fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	67
4.21. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong dengan fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	68
4.22. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong dengan fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	69
4.23. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong dengan fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	70
4.24. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong dengan fermentasi 10 seri 2 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	71
4.25. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₁ terhadap waktu	72
4.26. Grafik hubungan karakteristik elektrik sinkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Cu dan Zn ₂ terhadap waktu	73
4.27. Grafik hubungan daya kulit sinkong terhadap variabel	75
4.28. Grafik hubungan daya sinkong terhadap variabel	76

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Komposisi Kimia Singkong	8
2.2. Nilai deret volta.....	19
2.3. Pengelompokan larutan berdasarkan jenisnya	22
2.4. Sifat-sifat logam sebagai penghantar	31
2.5. Konduktivitas berbagai material	37
3.1. Data pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong saat beban dilepas dan saat menggunakan beban	44
3.2. Data perhitungan karakteristik elektrik	44
4.1. Daya kulit singkong	74
4.2. Daya singkong	76

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Listrik padam merupakan sebuah keadaan ketiadaan penyediaan listrik di sebuah wilayah yang dampaknya luas. Penyebabnya dapat berupa perbaikan pada sistem pembangkit listrik, kerusakan di gardu listrik, kerusakan di jaringan kabel atau bagian lain dari sistem distribusi, sehingga terjadi pemadaman bergilir di Lampung. Saat ini, delapan pusat pembangkit listrik yang tersebar di Provinsi Lampung, yaitu PLTU Tarahan 2x100 MW, PLTU Sebalang 2x100 MW, PLTP Ulubelu 1 dan 2 masing-masing 2x55 MW, PLTA Besai 2x45 MW, PLTA Batutegei 2x45 MW, serta PLTD Tarahan 3 dan 4 masing-masing 2x100 MW, secara total menghasilkan sekitar 890 MW daya listrik (Antara, 2016). Dampak dari mati listrik dapat mengganggu aktivitas masyarakat, diantaranya tidak bisa nonton televisi, aktivitas perkantoran terganggu, tidak adanya sumber cahaya pada malam hari, perlu sumber listrik untuk charger baterai laptop, handphone, dan sebagainya. Sehingga, diperlukan sumber energy listrik untuk memenuhi kebutuhan saat listrik padam, yaitu bisa dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia. Salah satu sumber daya alam yang berpotensi sebagai sumber energi listrik adalah limbah kulit singkong.

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2015 di Indonesia produksi singkong mencapai 21.790.956 ton, sedangkan untuk daerah Lampung pada tahun 2015 mencapai 7.384.099 ton, atau sekitar 1/3 kali produksi singkong nasional. Hal ini menunjukkan berlimpahnya singkong di Provinsi Lampung. Singkong telah digunakan oleh industri untuk produksi tepung tapioka dan sebagai substitusi makanan pokok, sedangkan daun singkong dikonsumsi sebagai sayuran. Kulit singkong yang merupakan bagian kulit luar umbi singkong tidak digunakan pada waktu penggunaan umbi (Hikmiyati, 2009), sebagian kecil kulit singkong ini hanya digunakan sebagai pakan ternak sedangkan sebagian lagi terbuang begitu saja. Setiap bobot singkong akan dihasilkan limbah kulit singkong sebesar 16% dari bobot tersebut (Hidayat, 2009) berarti pada tahun 2015 di Indonesia sudah terdapat kurang lebih mencapai 3.486.552 ton kulit singkong sedangkan untuk daerah Lampung kulit singkong yang dihasilkan mencapai 1.181.455 ton. Hal ini merupakan peluang besar untuk memanfaatkan limbah yang cukup melimpah tersebut.

Kulit singkong juga mengandung karbohidrat sebanyak 16,72 % (Winarno, 1990), yang dapat membentuk asam asetat (CH_3COOH), selain asam asetat terdapat juga asam sianida (HCN) (Rukmana, 1986). HCN merupakan salah satu elektrolit yang dapat menghasilkan arus listrik, sehingga sangat memungkinkan bahwa kulit singkong dapat menghasilkan arus listrik. Untuk mengetahui karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dengan perlakuan menggunakan seng, berbentuk pasta, dan difermentasi untuk mengukur besarnya tegangan, hambatan dalam, dan arus yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai energi listrik alternatif

terbarukan di Provinsi Lampung yang memiliki limbah kulit singkong sangat banyak.

Penelitian sumber energi listrik alternatif sebelumnya telah dilakukan oleh Imamah (2013), yang menggunakan berbagai variasi bahan elektroda seperti tembaga (Cu), aluminium (Al), besi (Fe), timah (Pb), dan kuningan (CuZn) untuk mengetahui efek kelistrikan yang ditimbulkan oleh variasi bahan elektroda yang terdapat pada limbah buah jeruk. Kemudian Muhlisin (2015) memanfaatkan baterai bekas dengan limbah kulit pisang dan durian sebagai sumber energi alternatif. Sedangkan, Harjono (2016) melakukan analisis karakteristik elektrik limbah sayuran dengan memanfaatkan dua elektroda yaitu tembaga (Cu) dan seng (Zn). Serta Irsan (2016), melakukan analisis karakteristik elektrik menggunakan berbagai jenis kulit singkong dan singkongnya sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai *handphone*. Pada penelitian ini, telah dilakukan analisis karakteristik elektrik limbah kulit singkong dan daging singkong menggunakan tembaga, seng biasa, dan seng baterai bekas, dengan fermentasi dan tanpa fermentasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan membuat media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong.
2. Mengetahui pengaruh rangkaian sel seri dan paralel terhadap arus dan tegangan.

3. Mengetahui karakteristik bahan elektroda terhadap arus dan tegangan.
4. Mengetahui pengaruh fermentasi terhadap karakteristik elektrik kulit singkong.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dengan bahan elektroda.
2. Mengetahui besarnya daya yang dihasilkan dari rangkaian sel kulit singkong dan singkong.
3. Mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan dari fermentasi kulit singkong dan singkong.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memanfaatkan limbah kulit singkong sebagai sumber energi listrik terbarukan.
2. Diketuinya karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dengan berbagai perlakuan.
3. Sebagai referensi karakteristik elektrik dengan elektroda pada kulit singkong dan singkong guna peningkatan ilmu pengetahuan dan teknologi.

E. Batasan Masalah

Sesuai dengan rumusan masalah diatas, batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Elektroda yang digunakan terdiri atas sepasang elektroda positif dan negatif, serta terbuat dari jenis bahan seperti tembaga (Cu), Zn₁ (seng biasa), dan Zn₂ (seng baterai bekas).
2. Kulit singkong dan singkong berbentuk pasta difermentasi dan tanpa fermentasi.
3. Pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dilakukan pada tegangan tanpa beban dan tegangan dengan menggunakan beban.
4. Jenis singkong yang digunakan jenis singkong *thailand*.
5. Jumlah media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong sebanyak 20 sel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Irsan (2016) tentang analisis karakteristik elektrik limbah kulit singkong (*Manohit esculenta Crantz*) sebagai sumber energi listrik alternatif terbarukan untuk mengisi baterai *handphone*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis kulit singkong, seperti singkong putih, singkong IR, dan singkong bassiro. Selain itu, penelitian dilakukan dengan menggunakan singkongnya. Elektroda yang digunakan menggunakan pasangan tembaga (Cu) dan seng (Zn). Pengukuran yang dilakukan diantaranya pengukuran tegangan pada kulit singkong dan singkongnya. Hasil dari pengukuran karakteristik berbagai jenis kulit singkong atau singkong terbaik kemudian digunakan untuk mengisi baterai *handphone*.

Selanjutnya Harjono (2016), ia menggunakan berbagai jenis limbah sayuran, seperti kangkung, bayam, terong, kol, kentang, kacang panjang, daun singkong, wortel, tomat, labu, sawi, dan campuran. Elektroda yang digunakan juga menggunakan pasangan tembaga (Cu) dan seng (Zn). Pengukuran yang dilakukan diantaranya pengukuran tegangan limbah pada cair dan pasta. Penelitian ini juga melakukan fermentasi limbah selama 3 hari.

B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini mengukur dan membandingkan karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dalam bentuk pasta dengan menggunakan elektroda, elektroda yang digunakan yaitu tembaga (Cu) dengan seng (Zn), dan juga tembaga dengan seng baterai. Karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dapat diketahui dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kulit singkong. Pada penelitian ini dilakukan dua tahap pengukuran, yaitu pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong saat beban dilepas, dan pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dengan menggunakan beban. Beban yang digunakan adalah lampu LED dengan memakai hambatan tertentu. Hasil dari penelitian karakteristik kulit singkong dan singkong berbentuk pasta terbaik antara elektroda tembaga (Cu) dengan seng (Zn) dan juga tembaga dengan seng baterai ini kemudian digunakan pada kulit singkong dan singkong yang di fermentasi untuk mengetahui hasil terbaik dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan.

C. Teori Dasar

a. Singkong (*Manihot esculenta Crantz*)

Singkong memiliki nama botani *Manihot esculenta Crantz* tapi lebih dikenal dengan nama lain *Manihot utilissima*. Ubi kayu termasuk ke dalam kingdom *Plantae*, divisi *Spermatophyta*, subdivisi *Angiospermae*, kelas *Dicotyledonae*, famili *Euphorbiaceae*, genus *Manihot* dengan spesies *esculenta Crantz*.

dengan berbagai varietas (Rukmana, 1986). Ubi kayu biasa disebut juga ketela pohon atau singkong dengan Komposisi kimia singkong per 100 gram bahan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Singkong (Departemen Kesehatan, 1992).

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
11.	Vitamin A (IU)	0.00	385
12.	Bagian yang dapat dimakan (%)	75.00	75.00

Umbi singkong dapat diolah menjadi gula cair dan makanan ternak serta dapat pula sebagai bahan bakar yang disebut etanol. Hampir seluruh bagian dari tanaman singkong dapat dimanfaatkan namun hingga saat ini tanaman ini masih jarang dikonsumsi masyarakat. Kelemahan utama yang menyebabkan singkong kurang diterima secara menyeluruh dan hanya dimanfaatkan sebagai makanan pokok di daerah pedesaan disebabkan karena 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). Ada dua jenis ubi kayu yang secara umum sering dikenal yaitu ubi kayu manis dan pahit. Rasa pahit disebabkan oleh racun asam sianida (HCN). Kandungan asam sianida (HCN) pada ubi kayu pahit dapat mencapai 100 mg/kg,

sedangkan pada ubi kayu manis sekitar 40 mg/kg. Kadar HCN pada ubi kayu dipengaruhi oleh keadaan tanah, penyiapan stek, cara bercocok tanam, iklim dan umur panen (Darjanto dkk, 1980).

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. 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 sedikit di atas suhu ruangan, $25.6\text{ }^\circ\text{C}$ ($78.1\text{ }^\circ\text{F}$). biasa digunakan dalam pembuatan asetonitril yang kemudian digunakan untuk produksi serat akrilik, karet sintesis, dan plastik. Bisa juga digunakan dalam berbagai proses kimia, seperti fumigasi, pengerasan besi dan baja, elektroplating, dan pemurnian bijih. Asam sianida bersifat asam lemah, garam sianida baik KCN maupun NaCN dalam ruangan yang berkelembapan tinggi mudah bereaksi dan membentuk gas HCN:

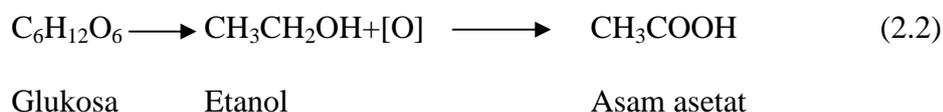


Kulit singkong yang diperoleh dari produk tanaman singkong (*Manihot Esculenta Cranz*) merupakan limbah utama pangan di negara-negara berkembang. Semakin luas areal tanaman singkong diharapkan produksi singkong yang dihasilkan semakin tinggi yang pada gilirannya semakin tinggi pula limbah kulit yang dihasilkan. Setiap kilogram singkong biasanya dapat menghasilkan 15 – 20 % kulit singkong. Komponen kimia kulit singkong

adalah sebagai berikut: protein 8,11 %, serat kasar 15,20 %, pektin 0,22 %, lemak kasar 1,44 %, karbohidrat 16,72 %, kalsium 0,63 %, air 67,74 % dan abu 1,86 % (Winarno, 1990), kulit singkong juga mengandung beberapa mineral, terutama seperti fosfor, natrium dan kalium (Amos dkk, 2009). Selain itu kulit singkong juga mengandung tannin, enzim peroksida, glukosa, kalsium oksalat, serat dan HCN (Rukmana, 1986).

b. Penyebab Kulit Singkong Menghasilkan Arus Listrik

Kulit singkong mengandung karbohidrat sebanyak 16,72 % (Winarno, 1990), Karbohidrat mengandung glukosa, apabila glukosa dicampur dengan air dan didiamkan maka akan terjadi fermentasi sehingga dapat diperoleh etanol. Etanol lama-kelamaan akan teroksidasi menjadi asam etanoat atau asam asetat. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut :



Asam asetat merupakan salah satu jenis zat elektrolit, selain CH_3COOH terdapat juga HCN yang merupakan elektrolit lemah dengan reaksi ionisasi yang terjadi yaitu sebagai berikut:



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. Pembuatan elektroda yang saat ini dikembangkan adalah menggunakan karbon aktif yang berukuran nano. Karbon aktif paling sering digunakan sebagai elektroda pada sistem ini, karena memiliki daya serap yang baik.

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 (*cell Voltaic*). Mengingat di kedua ujung konduktor terjadi reaksi redoks 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).

Arus listrik dapat mengalir karena seng (Zn) bertindak sebagai katode yang bersifat menarik ion negatif (CN^-) dan tembaga (Cu) bertindak sebagai anode yang bersifat menarik ion positif (H^+). Ketika air rendaman kulit singkong atau pasta kulit singkong bersentuhan dengan unsur seng dan tembaga terjadi reaksi ionisasi dalam larutan, sehingga dapat terjadi aliran elektron yang

menyebabkan arus listrik mengalir. Jika kedua elektroda dihubungkan dengan lampu (LED) arus akan mengalir dari anode ke katode, dan lampu menyala.

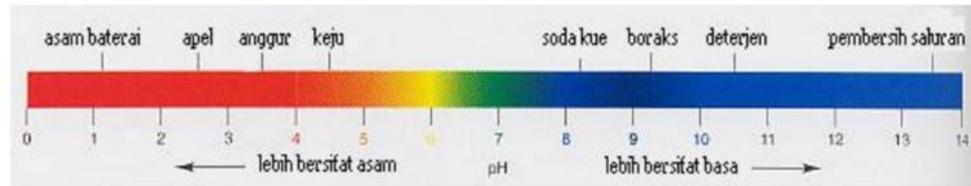
c. Derajat Keasaman (pH)

Keasaman suatu bahan mempengaruhi daya hantar listriknya. Baterai dapat menghasilkan listrik karena dalam sebuah baterai terdiri dari dua elektroda dan larutan elektrolit yang memiliki sifat asam. Pada konduktor elektrolit elektron mengalir dibawa oleh ion-ion, sedangkan yang dapat menghasilkan ion antara lain asam, basa, dan garam. Semakin asam larutan elektrolit, maka konsentrasi ion hidrogennya semakin tinggi dan hantaran arus dari anoda ke katoda semakin besar. Keasaman suatu bahan berhubungan dengan fermentasi.

Fermentasi merupakan proses memproduksi energi di dalam sel dalam keadaan tanpa oksigen (anaerob). Pada umumnya fermentasi dilakukan untuk menghasilkan keasaman dari bahan. Bahan yang memiliki keasaman yang kuat menghasilkan nilai pH yang kecil, sedangkan bahan yang tingkat keasamannya lemah menghasilkan nilai pH yang besar. Semakin asam suatu bahan maka konduktivitas listrik larutan tersebut makin besar, dan sebaliknya semakin besar nilai pH maka semakin kecil konduktivitas listrik larutan tersebut (Hendri, 2015).

Pada dasarnya skala/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⁺.



Gambar 2.1 Skala pH dari 0 sampai 14 (Bird, 1993).

Skala ini terbagi menjadi tiga daerah untuk beberapa larutan dengan pH yang berbeda. Bila larutan mempunyai pH tepat sama dengan 7, larutan tersebut dikatakan netral. Bila tidak, mungkin bersifat asam atau basa

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (2.4)$$

Nilai pH merupakan eksponen negatif dari konsentrasi ion hidronium. Hal ini dikarenakan asam/basa kuat terionisasi sempurna, maka konsentrasi ion H⁺ setara dengan konsentrasi asamnya. Makin besar konsentrasi ion H⁺ (makin asam larutan) maka makin kecil nilai pH, dan sebaliknya (Bird, 1993).

d. Elektrokimia

Elektrokimia adalah ilmu yang mempelajari aspek elektronik dari reaksi kimia, yaitu ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan reaksi-reaksi kimia yang diinisiasi atau menghasilkan energi listrik. Dalam elektrokimia, reaksi kimia yang terjadi adalah reaksi reduksi dan oksidasi atau yang 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).

Pada dasarnya reaksi redoks hanya meliputi zat-zat yang mengandung oksigen saja. Reaksi oksidasi dianggap sebagai reaksi penambahan oksigen dan reaksi reduksi adalah reaksi pengurangan oksigen. Tetapi, saat ini pengertian redoks diperluas menjadi reaksi perpindahan elektron. Reaksi oksidasi adalah peristiwa pelepasan elektron, dimana suatu zat memberikan elektron kepada zat lainnya, sebagai contoh $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$. Sedangkan reaksi reduksi adalah peristiwa penangkapan elektron, suatu zat menerima elektron dari zat lain, seperti contoh $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$. Senyawa yang mengalami oksidasi disebut sebagai reduktor dan senyawa yang mengalami reduksi disebut sebagai oksidator (Syukri, 1999).

Sel elektrokimia adalah 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 dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda. Jadi sebuah sel selalu terdiri atas anoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi, katoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi reduksi dan larutan elektrolit/ionik untuk menghantarkan arus, larutan ionik dianggap seperti resistor dalam suatu sirkuit, maka ukuran dari sifat-sifat larutan adalah tahanan resistor, mengikuti hukum Ohm (Bird, 1993).

1. Jenis-Jenis Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Terdapat beberapa sel elektrokimia

yang biasa kita gunakan dalam keperluan sehari-hari seperti aki, baterai kering, baterai alkalin, baterai litium dan lain sebagainya.

a) Aki

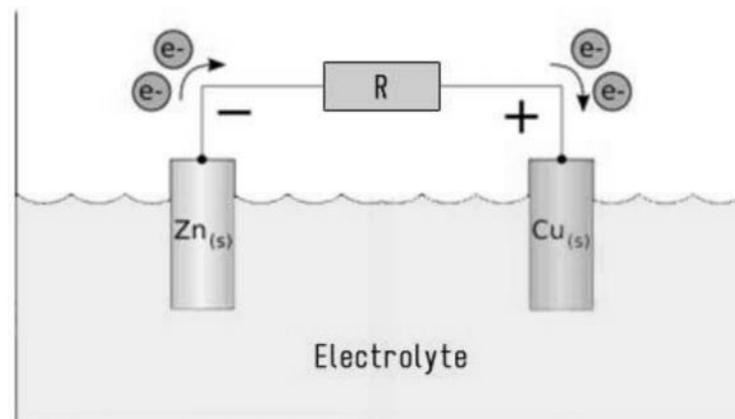
Aki merupakan salah satu contoh sel sekunder karena reaksi reduksi yang berlangsung pada sel ini dapat dibalik dengan cara mengalirkan arus listrik. Sel aki terdiri atas anoda Pb (timbal timah hitam) dan katoda PbO_2 (timbal (IV) oksida). Keduanya merupakan zat padat yang dicelupkan dalam asam sulfat. Kedua elektroda tersebut merupakan hasil reaksi yang tidak larut dalam asam sulfat, sehingga tidak diperlukan jembatan garam. Tiap sel aki mempunyai beda potensial kurang lebih 2 Volt. Aki 12 Volt terdiri atas 6 sel yang dihubungkan seri. Aki dapat diisi kembali karena hasil-hasil reaksi pengosongan aki tetap melekat pada kedua elektroda. Pengisian aki dilakukan dengan membalik arah aliran elektron pada kedua elektroda. Pada pengosongan aki, anoda (Pb) mengirim elektron pada katoda, sebaliknya pada pengisian aki elektroda Pb dihubungkan dengan kutub negatif sumber arus sehingga PbSO_4 yang terdapat pada elektroda Pb itu direduksi. Sementara itu PbSO_4 yang terdapat pada elektroda PbO_2 mengalami oksidasi membentuk PbO_2 (Hiskia, 1992).

b) Baterai

Baterai adalah suatu alat yang dapat 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 beda potensial. Komponen utama pada baterai terdiri dari elektroda dan elektrolit (Kartawidjaja dkk, 2008).

Bahan dan luas permukaan elektroda mampu mempengaruhi jumlah beda potensial yang dihasilkan. Setiap bahan elektroda memiliki tingkat potensial elektroda (E°) yang berbeda-beda. Jika luas permukaan elektroda diperbesar maka akan semakin banyak elektron yang dapat dioksidasi dibandingkan dengan elektroda dengan luas permukaan yang kecil (Kartawidjaja dkk, 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 dalam bentuk padatan cenderung lebih aman, mudah dipakai, bebas dari kebocoran dan dapat dibuat dengan dimensi lebih kecil (Riyanto, 2011).



Gambar 2.2 Transfer elektron pada baterai dalam (Kartawidjaja dkk, 2008)

Baterai adalah suatu alat yang dapat 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 tegangan. Prinsip kerja baterai (lihat Gambar 2.3.) menggunakan

prinsip elektrokimia dengan memanfaatkan proses reduksi-ossidasi dimana 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 atau dirangkaikan dengan komponen elektronika seperti dioda, resistor atau kapasitor (Kartawidjaja dkk, 2008).

1) Baterai kering

Baterai kering ditemukan oleh Leclanche yang mendapat hak paten atas penemuan itu pada tahun 1866. Sel Leclanche terdiri atas suatu silinder *zink* yang berisi pasta dari campuran batu kawi, salmiak, karbon dan sedikit air (sel ini tidak 100% kering) *zink* berfungsi sebagai anoda sedangkan sebagai katoda digunakan elektroda *inert*, yaitu grafit, yang dicelupkan ditengah-tengah pasta. Pasta itu sendiri 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).

2) 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, tapi baterai ini dapat bertahan lebih lama (Bird, 1993).

3) 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 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).

2. Deret Elektrokimia (Deret Volta)

Deret elektrokimia atau deret Volta merupakan urutan logam-logam berdasarkan kenaikan potensial elektroda standarnya. Umumnya deret Volta yang sering dipakai adalah Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Ni, Sn, Pb, H, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au. Tabel 2.2 menunjukkan nilai deret volta.

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 semakin kuat, semakin mudah mengalami oksidasi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin kurang reaktif, semakin sulit melepas elektron dan logam merupakan oksidator yang semakin kuat, semakin mudah mengalami reduksi.

Tabel 2.2 Nilai deret volta (Silberberg, 2000).

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

3. Potensial Sel Volta

Potensial sel Volta dapat juga dihitung berdasarkan data potensial elektroda positif (katoda) dan potensial elektroda negatif (anoda).

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

Katoda adalah elektroda yang mempunyai harga E° lebih besar (lebih positif), sedangkan anoda adalah yang mempunyai E° lebih kecil (lebih negatif) (Dogra, 1990).

e. Sel Galvani

Semua reaksi kimia yang disebabkan oleh energi listrik serta reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik dipelajari dalam bidang elektrokimia. Kita dapat menggunakan kelistrikan sejak Luigi Galvani pada tahun 1791 menemukan bahwa pada kodok yang segar dapat bergetar jika dihubungkan dengan dua macam logam bersambungan dan Alessandro Volta berhasil membuat baterai pertama dengan menyusun kepingan perak dan kepingan seng serta kertas yang dibasahi larutan asam (Syukri, 1999).

Sel galvani terdiri atas dua elektroda dan elektrolit. Elektroda dihubungkan oleh penghantar luar yang mengangkut elektron ke dalam sel atau keluar sel. Elektroda dapat berperan dan bisa juga tidak berperan dalam reaksi sel. Setiap elektroda dan elektrolit disekitarnya membentuk setengah sel. Reaksi elektroda adalah setengah reaksi yang berlangsung dalam setengah sel. Kedua setengah sel dihubungkan dengan jembatan garam. Arus diangkut oleh ion-ion yang bergerak melalui jembatan garam.

Sel galvani atau sel volta dapat menghasilkan energi listrik sebagai hasil reaksi kimia yang berlangsung spontan. Cara kerja dari sel galvani adalah sebagai berikut.

- 1) Pada anoda terjadi oksidasi dan elektron bergerak menuju elektroda.
- 2) Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju ke elektroda.

- 3) Elektron berindah dari katoda ke zat dalam elektrolit, zat yang menerima elektron mengalami reduksi (Hiskia, 1992).

f. Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit

Air adalah pelarut (*solven*) yang baik untuk senyawa ion, larutan air mempunyai sifat-sifat yang khas, salah satunya dapat menghantarkan arus listrik. Namun 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. Akan tetapi, 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 (Brady, 1999).

Larutan elektrolit dalam air terdisosiasi 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 netral. Ion-ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik.

Larutan yang dapat menghantarkan arus listrik disebut larutan elektrolit. Larutan ini memberikan gejala berupa menyalanya lampu atau timbulnya gelembung gas dalam larutan. Sedangkan elektrolit dapat dikelompokkan menjadi larutan elektrolit kuat dan elektrolit lemah sesuai pengelompokan larutan berdasarkan jenisnya pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengelompokan larutan berdasarkan jenisnya (Brady, 1999).

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan Lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	- Terionisasi sempurna - Menghantarkan arus listrik - lampu menyala terang - terdapat gelembung gas	NaCl, HCl, NaOH, H ₂ SO ₄ , dan KCl	NaCl → Na ⁺ + Cl ⁻ NaOH → Na ⁺ + OH ⁻ H ₂ SO ₄ → 2H ⁺ + SO ₄ ²⁻ KCl → K ⁺ + Cl ⁻
Elektrolit Lemah	- Terionisasi sebagian - Menghantarkan arus listrik - Lampu menyala redup - Terdapat gelembung gas	CH ₃ COOH, N ₄ OH, HCN, dan Al(OH) ³	CH ₃ COOH → H ⁺ + CH ₃ COO ⁻ HCN → H ⁺ + CN ⁻ Al(OH) ³ → Al ³⁺ + 3OH ⁻
Non Elektrolit	- Tidak terionisasi - Tidak menghantarkan arus listrik - Lampu tidak menyala redup - Tidak terdapat gelembung gas	C ₆ H ₁₂ O ₆ , C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ , CO(NH ₂) ₂ , dan C ₂ H ₅ OH	C ₆ H ₁₂ O ₆ C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ CO(NH ₂) ₂ C ₂ H ₅ OH

g. Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non logam dari sebuah sirkuit misal semikonduktor, elektrolit atau vakum. Elektroda ditemukan oleh ilmuwan Michael Faraday, berasal dari bahasa Yunani elektron yang berarti sebuah cara. Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel elektrokimia sehingga terjadi oksidasi dan katoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel elektrokimia sehingga 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).

1. Jenis-jenis Elektroda

a. Anoda

Pada sel galvanik, anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif disebabkan oleh reaksi kimia yang 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 galvanik. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda. Pada sel elektrolisis, katoda adalah elektroda yang bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan positif (kation) mengalir ke elektroda untuk direduksi, dengan demikian pada sel galvanik elektron bergerak dari anoda ke katoda (Bird, 1993).

2. Potensial Elektroda Standar (E°)

Potensial elektroda standar suatu elektroda adalah daya gerak listrik yang timbul karena pelepasan elektron dari reaksi reduksi. Karena itu,

potensial elektroda standar sering juga disebut potensial reduksi standar.

Nilai potensial elektroda standar dinyatakan dalam satuan Volt (V).

Untuk elektroda hidrogen, E° nya adalah 0,00 Volt.

a) Bila $E^{\circ} > 0$ cenderung mengalami reduksi (bersifat oksidator)

b) Bila $E^{\circ} < 0$ cenderung mengalami oksidasi (bersifat reduktor)

(Hiskia, 1992).

h. 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 kita mengukur perbedaan potensial (V) antara dua elektroda dengan menggunakan potensiometer ketika arus listrik yang dihasilkan mengalir sampai habis. Maka akan diperoleh nilai limit atau 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, bila diukur dengan potensiometer beda potensial pada suhu 25°C saat konsentrasi ion Zn^{2+} dan Cu^{2+} sama adalah 1,10 Volt. Bila elektroda Cu^{2+} dalam sel Daniell diganti dengan elektroda Ag/Ag^{+} , potensial sel adalah 1,56 Volt. Jadi dengan berbagai kombinasi elektroda dapat menghasilkan nilai potensial sel yang sangat bervariasi (Anderson dkk, 2010).

i. Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu, berasal dari bahasa latin *cuprum* dan nomor atom 29. Bernomor massa 63,54, merupakan unsur logam, dengan warna kemerahan. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga mempunyai kekonduksian elektrik dan kekonduksian haba yang tinggi diantara semua logam-logam tulen dalam suhu bilik, hanya perak mempunyai kekonduksian elektrik yang lebih tinggi daripadanya. Apabila dioksidakan, tembaga adalah besi lemah. Tembaga memiliki ciri warna kemerahan, hal itu disebabkan struktur jalurnya, yaitu memantulkan cahaya merah dan jingga serta menyerap frekuensi-frekuensi lain dalam spektrum tampak. Tembaga sangat langka dan jarang sekali diperoleh dalam bentuk murni. Mudah didapat dari berbagai senyawa dan mineral.



Gambar 2.3. Sebuah kristal tembaga (Vliet dkk, 1984).

Logam ini termasuk logam berat *non ferro* yaitu logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar serta memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik. Produksi tembaga sebagian besar dipakai sebagai

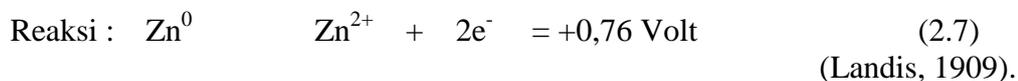
kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Biasanya dipergunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam-logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn (Vliet dkk, 1984).

Seng (*zinc*) adalah unsur kimia dengan lambang kimia Zn, nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Mineral yang mengandung seng di alam bebas antara lain kalaminit, franklinit, smithsonit, willenit dan zinkit. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150 °C. Seng (Zn) melebur pada 410°C dan mendidih pada 906 °C. Seng merupakan unsur yang melimpah dikerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Bijih seng yang paling banyak ditambang adalah seng sulfida (Slamet, 1994).

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.



Elektroda seperti Tembaga (*Cuprum*) dan Seng (*Zinc*) adalah kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia. Pada rangkaian sel elektrokimia, elektroda terbagi menjadi dua bagian, yaitu katoda seperti tembaga (Cu) sedangkan anoda seperti seng (Zn). 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, 2008).

Ketika dua buah konduktor seperti Cu-Zn, terhubung melalui larutan dengan konsentrasi pembawa muatan positif dan negatif tidak seimbang, maka satu jenis pembawa muatan akan terkumpul pada satu konduktor dan lainnya akan terkumpul pada konduktor lainnya, sehingga di kedua ujung konduktor tersebut terdapat beda potensial. Sistem ini dikenal dengan sel volta (*cell voltaic*). Mengingat di kedua ujung konduktor terjadi reaksi redoks terus menerus, maka pada terjadi pertukaran pembawa muatan dari elektroda ke larutan elektrolit maupun sebaliknya yaitu dari larutan elektrolit ke elektroda, menyebabkan aliran pembawa muatan (arus listrik). dengan kata lain gaya gerak listrik dari sel merupakan hasil perubahan energi kimia melalui reaksi redoks. Energi listrik yang dihasilkan dari sel volta bergantung pada jenis larutan dan elektroda baik jenis material maupun modifikasi dimensi elektroda (Landis, 1909).

j. Arus dan Rapat Arus

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya, arus listrik adalah muatan yang bergerak. Dalam konduktor padat sebagai pembawa muatan adalah elektron bebas, dalam konduktor cair atau elektrolit pembawa muatannya adalah ion positif dan ion negatif, dalam bentuk gas

muatannya adalah ion positif dan elektron. Elektron bebas dan ion dalam konduktor bergerak karena pengaruh medan listrik. Dalam bahan isolator, elektron bebas terikat kuat pada masing-masing atom sehingga bahan isolator tidak dapat menghantarkan arus. Jika dalam waktu t telah lewat sejumlah Δq muatan maka arus listrik I yang mengalir dapat dinyatakan:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (2.8)$$

dengan Δq adalah banyaknya muatan yang mengalir untuk selang waktu Δt yang sangat kecil. Untuk arus searah, jumlah muatan yang mengalir melalui penampang kawat atau konduktor adalah konstan sehingga dapat di tuliskan:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.9)$$

dengan:

q = banyaknya muatan listrik (C);

I = kuat arus (A);

t = waktu (s).

Dengan demikian, arus listrik dalam satuan SI adalah coulumb 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. Banyaknya energi listrik yang diperlukan untuk mengalirkan setiap muatan listrik dari ujung-ujung penghantar disebut beda potensial listrik atau tegangan listrik. Hubungan antara energi listrik, muatan listrik dan beda potensial listrik secara matematik dirumuskan:

$$V = \frac{W}{Q} \quad (2.10)$$

dengan:

V = beda potensial listrik (V);

W = energi listrik (J);

Q = muatan listrik (C).

Rapat arus didefinisikan sebagai besarnya kuat arus per satuan luas penampang atau permukaan. Rapat arus mempunyai satuan ampere/m². Arus I merupakan karakteristik dari suatu penghantar, arus adalah sebuah kuantitas makroskopik, seperti massa sebuah benda, volume sebuah benda dan panjang sebuah benda. Sebuah kuantitas makroskopik yang dihubungkan dengan itu adalah rapat arus. Rapat arus tersebut adalah sebuah vektor dan merupakan ciri sebuah titik di dalam penghantar dan bukan merupakan ciri penghantar secara keseluruhan. Jika arus tersebut didistribusikan secara uniform pada sebuah penghantar yang luas penampangnya A , maka besarnya rapat arus untuk semua titik pada penampang tersebut adalah:

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.11)$$

dengan:

J = rapat arus (A/m²);

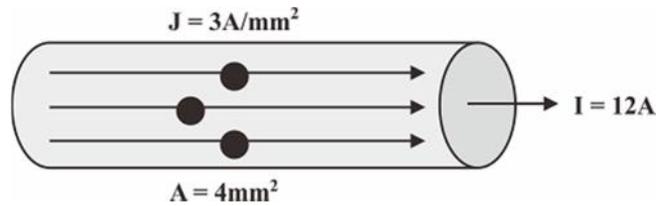
I = kuat arus (A);

A = luas penampang kawat (m²).

Kerapatan arus adalah besarnya arus yang mengalir tiap satuan luas penghantar. Arus listrik mengalir dalam kawat penghantar secara merata menurut luas penampangnya. Sebagai contoh arus listrik 12 A mengalir

dalam kawat berpenampang 4 mm^2 , maka kerapatan arusnya adalah 3 A/mm^2 .

Rapat arus pada penghantar terlihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.4 Rapat arus pada penghantar (Halliday dan Resnick, 1989).

k. Hambatan dan Resistivitas

Hambatan listrik adalah perbandingan antara tegangan listrik dari suatu komponen elektronik (misalnya resistor) dengan arus listrik yang melewatinya. Resistor adalah komponen elektronik dua saluran yang didesain untuk menahan arus listrik dengan memproduksi penurunan tegangan diantara kedua salurannya sesuai dengan arus yang mengalirinya, berdasarkan hukum ohm.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.12)$$

dengan:

V = tegangan listrik (V);

I = arus listrik (A);

R = hambatan listrik ().

Resistivitas bahan dipengaruhi oleh struktur atom atau struktur molekul suatu bahan, dimana elektron-elektron pada suatu bahan ada yang lebih mudah berpindah dari satu molekul ke molekul yang lain dan ada elektron-elektron pada bahan lain yang susah berpindah. Resistivitas adalah sifat suatu bahan,

bahan yang berbeda resistivitasnya juga berbeda sedangkan resistansi merupakan sifat dari suatu bahan.

Tabel 2.4. Sifat-sifat logam sebagai penghantar (Halliday, 1989).

No	Logam	Resistivitas (ρ) pada 20 ^o) $10^{-8} \Omega \cdot m$	Temperatur koefisien resistivitas, α , per $^{\circ}C$ ($\times 10^{-5}$)
1	Perak	1,6	380
2	Tembaga	1,7	390
3	Alumunium	2,8	390
4	Tungsten	5,6	450
5	Nikel	6,8	600
6	Besi	10	500
7	Baja	18	300
8	Mangan	44	1,0
9	Karbon*	3500	-50

Karbon bukan merupakan sebuah logam, tujuannya dimasukkan dalam tabel tersebut hanya sebagai perbandingan.

1. Resistansi, Reaktansi dan Impedansi

Resistansi, reaktansi dan impedansi merupakan istilah yang mengacu pada karakteristik dalam rangkaian yang bersifat melawan arus listrik. Resistansi merupakan tahanan yang diberikan oleh resistor. Reaktansi merupakan tahanan yang bersifat reaksi terhadap perubahan tegangan atau perubahan arus. Nilai tahanannya berubah mengikuti perbedaan fase dari tegangan dan arus, selain itu reaktansi tidak mendisipasi energi. Sedangkan impedansi mengacu pada keseluruhan dari sifat tahanan terhadap arus baik mencakup resistansi, reaktansi atau keduanya. Ketiga jenis tahanan ini memiliki satuan ohm (William dkk, 1972).

1. Resistansi

Resistansi adalah gesekan untuk melawan gerakan elektron. Resistansi terdapat pada semua konduktor bahkan pada seuperkonduktor sekalipun dan resistansi ada pada resistor. Ketika arus bolak-balik melewati suatu resistansi, akan ada tegangan yang muncul dimana tegangan ini memiliki fasa yang sama dengan arus yang melewati resistansi tersebut. Secara matematis resistansi disimbolkan dengan huruf "R" dan diukur dalam satuan ohm (Ω) (William dkk, 1972).

2. Reaktansi

Reaktansi adalah suatu inersia atau kelembaman yang melawan gerakan elektron. Reaktansi muncul di tempat yang terdapat medan magnet ataupun medan listrik yang ditimbulkan oleh tegangan atau arus listrik, reaktansi terdapat pada komponen induktor dan kapasitor. Ketika arus bolak-balik melewati suatu reaktansi murni, akan dihasilkan tegangan yang memiliki beda fasa sebesar 90° dengan arusnya. Bila reaktansinya kapasitif, arus mendahului tegangan sebesar 90° . Bila reaktansinya induktif, tegangan mendahului arus sebesar 90° . Secara matematis reaktansi disimbolkan dengan huruf "X" dan diukur dalam satuan ohm (Ω) (William dkk, 1972).

Induktansi adalah kecenderungan dari perubahan arus yang mengalir melalui kawat yang akan melawan arus lawan didekat konduktor. Hal ini terjadi karena arus listrik yang berubah menghasilkan medan magnet yang berubah, yang menyebabkan elektron mengalir dalam materi. Ketika kawat dililitkan ke koil, membentuk sebuah induktor dan akan

menghasilkan aliran elektron yang berlawanan, atau gaya gerak listrik (GGL). Tegangan dari GGL yang diinduksi meningkat seiring dengan laju perubahan tegangan suplai, sehingga meningkatkan frekuensi AC akan meningkatkan reaktansi induktif. Seperti kapasitor, induktor biasanya banyak digunakan dalam berbagai komponen (Horowitz dkk, 1989).

3. Impedansi

Impedansi adalah bentuk komprehensif atau kompleks yang menunjukkan semua bentuk perlawanan terhadap gerakan elektron, yang terdiri dari resistansi dan reaktansi. Impedansi terdapat di semua rangkaian dan semua komponen. Ketika arus bolak-balik melewati suatu impedansi, dihasilkan suatu tegangan dimana tegangannya memiliki beda fasa sebesar 0° hingga 90° dengan arusnya.

Secara matematis impedansi disimbolkan dengan huruf “Z” dan diukur dalam satuan ohm (Ω) (William dkk, 1972). Sudut fasa impedansi dari suatu komponen merupakan beda fasa dari tegangan dan arus pada komponen tersebut. Untuk resistor yang sempurna, tegangan dan arus selalu berada dalam fasa yang sama. Sudut fasa impedansinya sama dengan nol sehingga beda fasa antara tegangan dengan arus pada resistor sama dengan nol derajat. Untuk induktor yang ideal, tegangan induktor mendahului arus induktor sebesar 90° , sehingga sudut fasa impedansinya adalah $+90^\circ$. Untuk kapasitor yang ideal, tegangan tertinggal dari arus sebesar 90° , sehingga sudut fasa impedansi pada kapasitor adalah -90° .

m. Konduktivitas

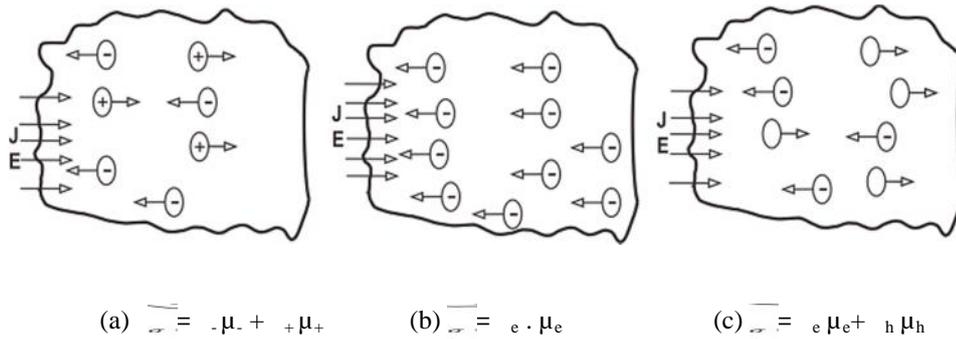
Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan Bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Daya didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = V_b \cdot I \quad (2.13)$$

Kemudian untuk menentukan hambatan dalam dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_{in} = \frac{V_{bl} - V_b}{I} \quad (2.14)$$

Dalam cairan atau gas, umumnya terdapat baik ion positif atau ion negatif yang bermuatan tunggal atau kembar dengan massa yang sama atau berbeda. Konduktivitas akan terpengaruh oleh semua faktor-faktor tersebut. Tetapi kalau kita anggap semua ion adalah sama, demikian pula ion positif, maka konduktivitasnya hanya terdiri dari dua suku, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6(a). Pada konduktor logam, hanya elektron valensi saja yang bebas bergerak. Pada Gambar 2.6(b) elektron-elektron itu digambarkan bergerak ke kiri. Konduktivitas disini hanya mengandung satu suku, yakni hasil kali rapat muatan elektron-elektron konduksi n_e dengan mobilitas μ_e .



Gambar 2.5. Konduktivitas cairan atau gas (a), logam (b) dan semikonduktor (c) (Sinaga, 2010)

Dalam semikonduktor, seperti germanium dan silikon, konduksi tadi lebih kompleks. Dalam struktur kristal, setiap atom mempunyai ikatan kovalen dengan empat atom yang berdekatan. Seperti yang terlihat pada gambar 2.6 (c), konduktivitas σ disini terdiri dari dua suku, satu untuk elektron, lainnya untuk lubang. Dalam konduktivitas σ salah satu dari kerapatan n_e atau n_h akan jauh melampaui yang lainnya (Sinaga, 2010).

n. Konduktivitas Elektrik

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Arus listrik di dalam larutan dihantarkan oleh ion yang terkandung di dalamnya. Ion memiliki karakteristik tersendiri dalam menghantarkan arus listrik. Maka dari itu nilai konduktivitas listrik hanya menunjukkan konsentrasi ion total dalam larutan (Irwan, 2016). Pengukuran konduktivitas elektrik adalah penentuan konduktivitas spesifik dari larutan. Konduktivitas spesifik adalah kebalikan dari tahanan untuk 1 cm^3 larutan. Pemakaian cara untuk pengukuran ini antara lain untuk mendeteksi pengotoran air karena elektrolit atau zat kimia, seperti pada limbah industri, air untuk mengisi ketel uap atau boiler, pengolahan air bersih dan lain-lain.

Karena ada relevansi antara konsentrasi dan konduktivitas suatu larutan, maka untuk menentukan konsentrasi suatu larutan dapat dilakukan dengan cara mengukur konduktivitas larutan tersebut. Dalam hal itu hubungan antara konsentrasi dan konduktivitas larutan telah ditentukan.

Larutan asam, basa dan garam dikenal sebagai elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik atau disebut konduktor listrik. Konduktivitas listrik ditentukan oleh sifat elektrolit suatu larutan, konsentrasi dan suhu larutan. Pengukuran konduktivitas suatu larutan dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi larutan tersebut, yang dinyatakan dengan persen dari berat, Part Per Million (PPM) atau satuan lainnya.

Jika harga konduktivitas dari bermacam konsentrasi larutan elektrolit diketahui, maka untuk menentukan konsentrasi larutan tersebut dapat dilakukan dengan mengalirkan arus melalui larutan dan mengukur resistivitas atau konduktivitasnya. Nilai konduktivitas berbagai material dapat dilihat seperti Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5. Konduktivitas berbagai material (Sinaga, 2010).

No	Material	Tipe	σ , S/m
1	Kuarsa	Isolator	10^{-17}
2	Belerang	Isolator	10^{-15}
3	Mika	Isolator	10^{-15}
4	Karet	Isolator	10^{-15}
5	Kaca	Isolator	10^{-12}
6	Air destilasi	Isolator	10^{-4}
7	Tanah pasir	Isolator lemah	10^{-3}
8	Tanah rawa	Isolator lemah	10^{-2}
9	Air segar	Isolator lemah	10^{-2}
10	Germanium	Semikonduktor	2
11	Air laut	Konduktor	5
12	Karbon	Konduktor	3×10^4
13	Perak	Konduktor	3×10^6
14	Tembaga	Konduktor	$5,7 \times 10^7$
15	Seng	Konduktor	$1,7 \times 10^7$
16	Timah	Konduktor	9×10^6
17	Graphite	Konduktor	10^5
18	Chrome	Konduktor	10^6
19	Silicon	Konduktor	2×10^6
20	Mercury	Konduktor	10^6
21	Besi tuang	Konduktor	10^6
22	Alumunium	Konduktor	$3,5 \times 10^7$
23	Fosfor	Konduktor	$1,0 \times 10^7$
24	Kuningan	Konduktor	$1,1 \times 10^7$
25	Tungsten	Konduktor	$1,8 \times 10^7$

Elemen pertama pada pengukuran konduktivitas listrik berbentuk konduktivitas sel yang terdiri atas sepasang elektroda yang luas permukaannya ditetapkan dengan teliti. Konduktivitas yang diukur dengan sel konduktivitas dinyatakan dengan rumus:

$$K = c \frac{l}{A} \quad (2.15)$$

dengan:

K = konduktivitas (mho/cm);

c = konduktansi (mho);

A = luas elektroda (cm^2);

l = jarak antara elektroda (cm).

Dalam satuan Sistem Internasional (SI), satuan mho diganti dengan Siemens. Untuk suatu konduktivitas, mho/cm sama dengan mikro siemens per centimeter ($\mu\text{S/cm}$). Namun karena pada SI satuan panjang yang digunakan adalah dalam satuan meter maka satuan konduktivitas adalah mikro siemens per meter, $\mu\text{S/cm} = 100 \text{ S/m}$.

Pada peralatan ukur konduktivitas di industri, luas permukaan elektroda dapat lebih ataupun kurang dari 1 cm dan jaraknya dapat lebih jauh ataupun lebih dekat dari 1 cm. Hubungan satuan antara elektroda-elektroda dengan sel konduktivitas standar disebut dengan konstanta sel (K) (Sinaga, 2010).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan September 2017 sampai Desember 2017.

B. Alat dan Bahan

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

1. Multimeter digital, digunakan sebagai alat pengukur karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong.
2. Gergaji besi, digunakan untuk memotong tembaga dan seng dalam pembuatan elektroda.
3. Tang, untuk membentuk bahan elektroda agar dapat digunakan dengan baik.
4. Gunting, digunakan untuk memotong kabel agar antar media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong saling terhubung.
5. pH meter, untuk mengukur derajat keasaman kulit singkong dan singkong.

6. Gelas ukur, sebagai alat pengukur volume air, kulit singkong, dan singkong yang telah dihaluskan.
7. Blender atau pamarut, digunakan untuk menghaluskan kulit singkong dan singkong.
8. Spidol atau pensil, digunakan untuk mencatat data pengamatan dan keperluan lainnya.

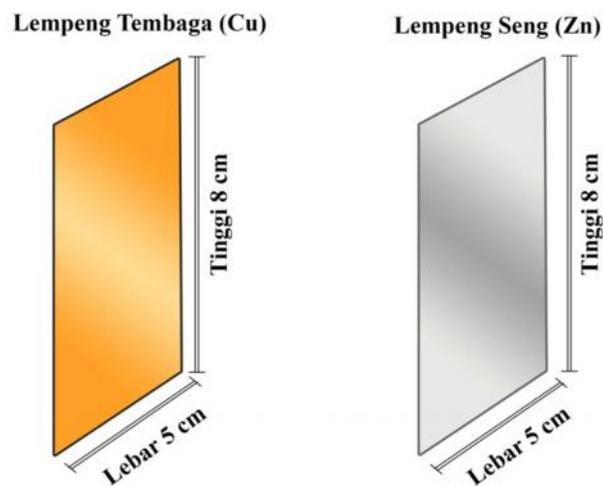
Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah.

1. Kulit singkong dan singkong, digunakan sebagai elektrolit untuk diketahui karakteristik elektriknya.
2. Akrilik, untuk membuat media tempat penampungan pasta atau cair kulit singkong dan singkong yang akan diuji karakteristik elektriknya.
3. Tembaga (Cu), seng (Zn), dan seng baterai yang digunakan sebagai elektroda.
4. Perekat, untuk membentuk media tempat penampungan kulit singkong dan singkong yang akan diuji karakteristik elektriknya.
5. Kabel dan jepit buaya, untuk menghubungkan antar media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong.
6. Lampu LED, digunakan untuk menguji keberadaan karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong.

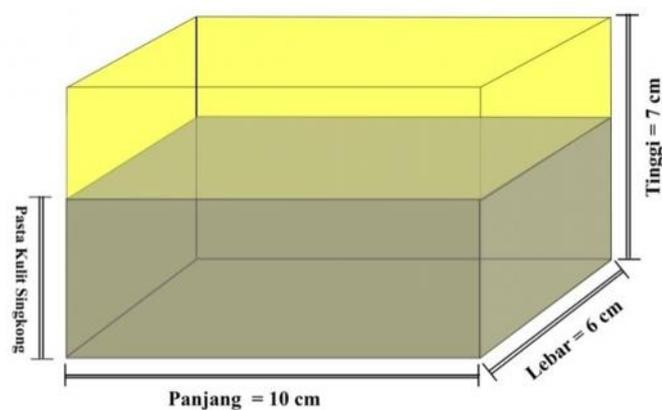
C. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong berbentuk pasta, tanpa fermentasi dan dengan fermentasi selama 3 hari, serta menggunakan pasangan elektroda tembaga (Cu) sebagai

katoda dan seng (Zn) sebagai anoda, serta tembaga (Cu) sebagai katoda dan seng baterai bekas sebagai anoda. Perancangan dan pembuatan media tempat uji dibuat dari bahan akrilik yang dibentuk menjadi kotak persegi (sel) agar dapat digunakan untuk menampung pasta kulit singkong dan singkong. Desain lempeng tembaga (Cu) dan seng (Zn) sebagai elektroda dapat dilihat pada Gambar 3.1. Sedangkan desain sel media tempat uji dapat dilihat pada Gambar 3.2.

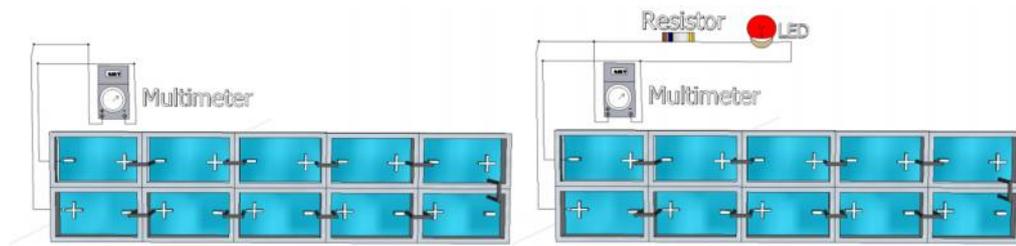


Gambar 3.1. Desain lempeng tembaga (Cu) dan seng (Zn)



Gambar 3.2. Desain sel media tempat uji

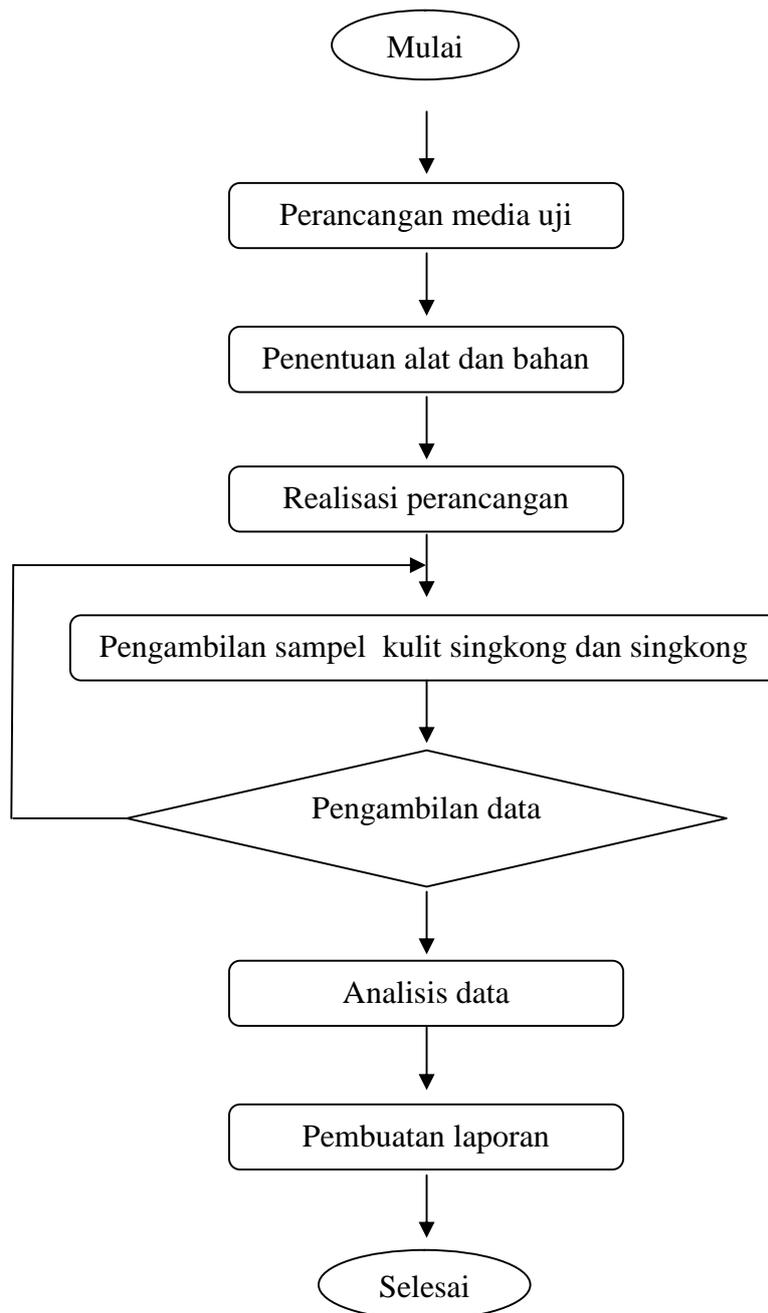
Kulit singkong dan singkong yang telah dibersihkan kemudian dibuat pasta dengan cara dihaluskan menggunakan blender yang ditambah sedikit air agar mudah dalam menghaluskannya. Setelah media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong ini siap, kemudian dilakukan pengambilan data pengamatan karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dengan menggunakan multimeter digital. Pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong berbentuk pasta terdiri dari tegangan saat beban dilepas (V_{b1}), tegangan saat menggunakan beban lampu LED (V_{b2}), dan arus (I). Desain media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Media tempat uji karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong, pada pengukuran tanpa beban (a), dan pengukuran menggunakan beban (b)

D. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong sebagai sumber energi listrik terbarukan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

E. Rencana Data Hasil Pengamatan

Pada penelitian ini karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong yang akan diperoleh berupa tegangan dan arus yang dapat diketahui dengan menggunakan multimeter digital. Data pengamatan pada penelitian ini terdiri dari data pengamatan karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong tegangan saat beban dilepas (V_{bl}) dan data pengamatan karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong tegangan saat menggunakan beban (V_b) dan arus (I) serta data perhitungan berupa daya (P) dan hambatan dalam (R_{in}). Tabel 3.1 merupakan rancangan tabel data pengamatan karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong saat beban dilepas dan saat menggunakan beban, serta Tabel 3.2 yaitu rancangan tabel data perhitungan.

Tabel 3.1. Data pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong saat beban dilepas dan saat menggunakan beban

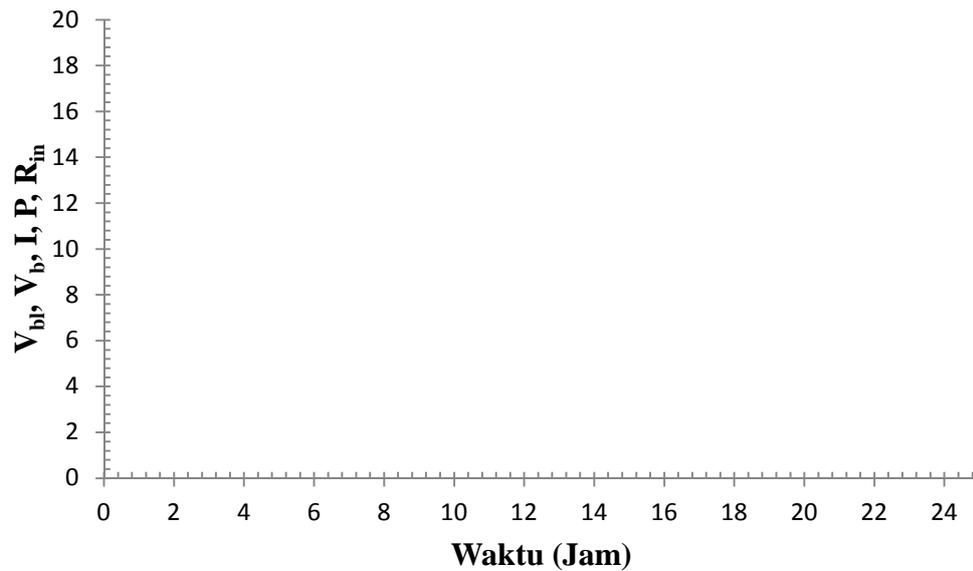
No	Pukul	Waktu (Jam)	V_{bl} (Volt)	V_b (Volt)	I (mA)
1		0			
2		2			
3		4			
...		...			
...		...			
13		24			

Tabel 3.2. Data perhitungan karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong

No	Pukul	Waktu (Jam)	P (mW)	R_{in} (Ohm)
1		0		
2		2		
3		4		
...		...		
...		...		
13		24		

F. Rencana Grafik Pengamatan

Adapun rencana grafik dari penelitian karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong sebagai sumber energi listrik terbarukan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Rencana grafik pengukuran dan perhitungan karakteristik kulit singkong dan singkong terhadap waktu.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Elektroda Zn_2 (seng baterai bekas) menghasilkan daya yang lebih besar yaitu 5.8597 mW pada kulit singkong dan 14.1052 mW pada singkong, dibandingkan dengan Zn_1 (seng biasa) yaitu 1.9902 mW pada kulit singkong dan 6.0053 mW pada singkong, karena kandungan Zn_2 (seng baterai bekas) lebih murni.
2. Kulit singkong atau singkong tanpa fermentasi menghasilkan tegangan yang lebih besar yaitu 20.76 volt, dibandingkan dengan kulit singkong atau singkong dengan fermentasi yaitu 19.17 volt, karena kulit singkong atau singkong dengan fermentasi mengandung lebih banyak alkohol yang merupakan elektrolit lemah.
3. Pada kulit singkong, daya rangkaian sel secara seri lebih besar yaitu 5.8597 volt, dibandingkan daya rangkaian secara paralel yaitu 5.7078 volt.

B. Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Melakukan penelitian dengan menggunakan umbi-umbian yang lebih banyak mengandung racun (asam sianida).
2. Melakukan penelitian dengan waktu fermentasi yang lebih lama.
3. Membuat inovasi pemanfaatan limbah kulit singkong yang kandungan elektriknya telah terpakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Amos, T., Bamidele, M.W., Madukosiri, dan Chinyelu H. 2009. The Effect of Processing on the Sodium, Potassium and Phosphorus Content of Six Locally Consumed Varieties of *Manihot esculenta* Grown in Bayelsa State. *Pakistan Journal of Nutrition*. Vol. 8, No. 10, hal. 1521-1525.
- Anderson, M.A., Alberto, C., dan Jose, P. 2010. *Capacitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water*. *Electrochimica Acta*, No. 55, hal. 3845-3856.
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Brady, J.E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Sukmariah Maun. Binarupa Aksara Publisher, Tangerang.
- Effendi, H. 2000. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Darjanto dan Muryati. 1980. *Khasiat, Racun, dan Masakan Ketela Pohon*. Bogor: Yayasan Dewi Sri.
- Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Halliday, dan Robert R. 1989. *Fisika Edisi Ketiga Jilid 2*. Penerjemah: Pantur Silaban dan Erwik Sucipto. Jakarta: Erlangga.
- Harjono. 2016. *Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Sayuran Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan*.(Skripsi). Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Hendri, Yasni, Gusnedi dan Ratnawulan. 2015. *Pengaruh Jenis Kulit Pisang dan Variasi Waktu Fermentasi Terhadap Kelistrikan dari Sel Accu dengan Menggunakan Larutan Kulit Pisang*. *Pillar of Physic* Vol. 6 Hal. 97-104.
- Hidayat, C. 2009. *Peluang Penggunaan Kulit Singkong Sebagai Pakan Unggas*. Bogor: Balai Penelitian Ternak.
- Hikmiyati, N. 2009. *Pembuatan bioetanol dari kulit singkong melalui hidrolisa asam dan enzimatis*.(Skripsi). Universitas Diponegoro.

- Hiskia, A. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.
- Horowitz, P. and William, H. 1989. *The Art of Electronics*. Cambridge University Press. hal. 32-33.
- Hudaya, E. 2016. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan.(Skripsi).Universitas Lampung,Bandar Lampung. 49-87 hlm.
- Imamah, A.N. 2013. *Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Variasi Jarak Antar Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan oleh Limbah Buah Jeruk (Citrus sp.)*. (Skripsi). Universitas Jember.
- Irsan. 2016. *Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan Untuk Mengisi Baterai Handphone*.(Skripsi). Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Irwan, Fadhilah, dan Afdal. 2016. *Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air*. Fisika, Vol. 5, No. 1, hal. 86.
- Kartawidjaja, M., Abdurrochman, A., Rumeksa, E. 2008. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. Lampung: Universitas Lampung. hal. 105-115.
- 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, hal. 399-420.
- Muhlisin. 2015. *Pemanfaatan Sampah Kulit Pisang Dan Kulit Durian Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Pasta Batu Baterai*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Oren, Y. 2008. *Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment past, present and future (a review)*, *Desalination*. No. 228, hal. 10-29.
- Riyanto, B. 2011. Elektrolit Baterai dari Polimer Chitosan. (<http://bambangriyanto.staff.ipb.ac.id/category/aplikasi-modern-chitosan>) Diakses pada tanggal 27 April 2017.
- Rukmana, R. 1986. *Ubi Kayu, Budidaya, dan Pasca Panen*. Jakarta: Kanisius.
- Silberberg, M.S. 2000. *Chemistry, The Molecular Nature Of Matter And Change*. New York: McGraw Hill Education.

- Sinaga. 2010. Studi Flowmeter Magnetik. (repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18269/3/Chapter%20II.pdf). Diakses pada tanggal 27 April 2017.
- Slamet, J.S. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Syukri, S. 1999. *Kimia Dasar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tjokroadikoesoema. 1985. *HPS dan Industri Ubi Kayu Lainnya, edisi 2*. Jakarta: PT Gramedia.
- Vliet. T.V., Lakemond, C.M.M., dan Visschers, R.W. 1984. *Rheology and structure of milk protein gels. Current Opinion Colloid Interface Science*. England: Horwood Ltd.
- Wang, J. 2000. *Analytical Electrochemistry, 2nd edition*. USA : A John Willey & Son , Inc.
- William, H.J.R. and Jack E. Kemmerly. 1972. *Rangkaian Listrik Edisi Keempat Jilid 1*. Penerjemah: PanturSilaban. Jakarta: Erlangga.
- Winarno, F. 1990. *Singkong dan Pengolahannya*. Jakarta: Aksara Baru.