

**ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK LIMBAH SAYURAN
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN**

(Skripsi)

**Oleh
Harjono**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK LIMBAH SAYURAN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Oleh

HARJONO

Karakteristik elektrik limbah sayuran telah diketahui dengan menggunakan pasangan elektroda Cu-Zn. Pengukurannya dilakukan pada tegangan berbeban dari rangkaian LED dengan hambatan 1000 Ω . Volume limbah yang digunakan adalah 30 ml dan 50 ml. Limbah sayuran tersebut terdiri atas 12 yaitu kangkung, kentang, wortel, tomat, sawi, kacang panjang, kol, bayam, labu, terong, daun singkong dan campuran dari 11 limbah tersebut. Berdasarkan penelitian limbah sayuran yang memiliki tingkat keasaman atau nilai pH nya lebih kecil dapat menghantarkan arus listrik yang besar. Pada percobaan yang telah dilakukan nilai tegangan terbesar dihasilkan oleh limbah sayuran campuran 2,97 volt dan arus terbesar dihasilkan oleh limbah campuran 173 μA .

Kata Kunci: Karakteristik Elektrik, Limbah Sayuran.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF VEGETABLE WASTE AS A SOURCE OF RENEWRABLE ELECTRICAL ENERGY

By

Harjono

The electrical characteristics of vegetables waste could be perceived using a pair of electrodes Cu-Zn. Measurement of the electrical characteristics of vegetable waste was carried on load voltage of the LED circuit with resistance value of 1000 Ω . The volume of vegetable waste that used are 30 ml and 50 ml. Vegetable waste used are 12 , kale, potato, carrot, tomato, mustard green, bean, cabbage, spinach, pumpkin, eggplant, cassava leaves and mixture of the 11 wastes. For characterization ,the measurement of voltage value, current value and pH were conducted. Vegetable waste with highlevel of acidity or lower pH value can conduct large electric current. In the conducted experiment, the highest voltages generated by the mixture of vegetable waste was 2.97volts and the highest current generated by mixture of vegetable waste was 173 μ A

Keyword: Electrical Characteristics, vegetable wate.

Judul Penelitian : **ANALISIS KARAKTERISTIK ELEKTRIK
LIMBAH SAYURAN SEBAGAI SUMBER
ENERGI LISTRI TERBARUKAN**

Nama Mahasiswa : **Harjono**

No. Pokok Mahasiswa : 0917041031

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Gurum Ahmad Fauzi, S.Si, M.T
NIP. 19801010 200510 1 002

2. Ketua Jurusan

Arif Surtono, M.Si, M.Eng
NIP. 197100909 200012 1 001

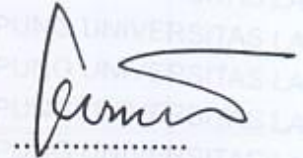
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

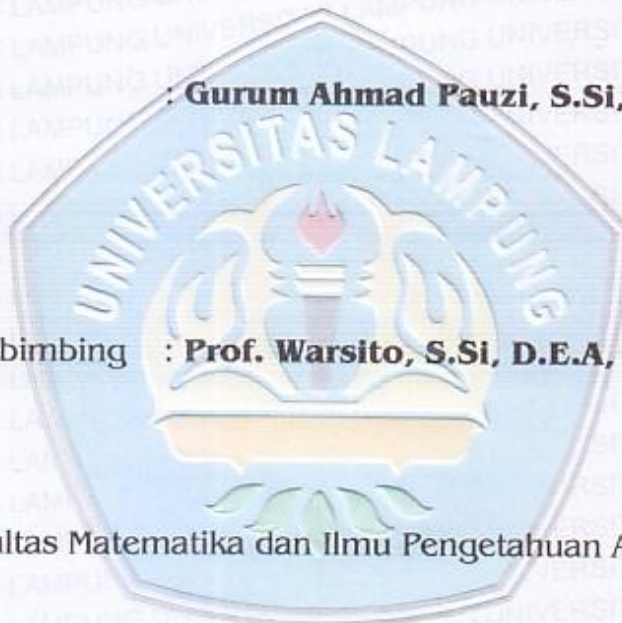
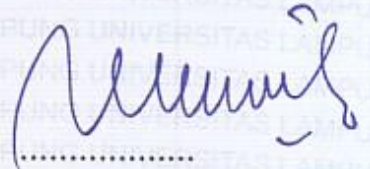
Ketua : **Drs Amir Supriyanto, M.Si**



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Warsito, S.Si, D.E.A, Ph.D**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 Desember 2016**

PERNYATAAN

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

Apabila pernyataan yang saya buat ini tidak benar, saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku

Bandar Lampung, Desember 2016



Harjono
0917041031

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Harjono dilahirkan pada tanggal 08 Juni 1990 di Kalianda Lampung Selatan dan merupakan anak ke enam dari tujuh bersaudara pasangan Bapak Tupon dan Ibu Hayatun.

Pendidikan dasar penulis diselesaikan pada tahun 2003 di SDN 2 Way Muli Lampung Selatan, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SLTP Negeri 1 Rajabasa Lampung Selatan diselesaikan pada tahun 2006. Pendidikan tingkat atas dilanjutkan di SMAN 1 Kalianda Lampung Selatan diselesaikan pada tahun 2009. Pada tahun 2009 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Unila melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis sering mengikuti Seminar Nasional, aktif dalam organisasi, berperan aktif sebagai koordinator laboratorium dan asisten praktikum. Selama menempuh pendidikan penulis aktif di UKMF Rois FMIPA Unila sebagai kepala bidang kajian pada periode 2010-2011. Sebagai Staf Lingkungan Hidup di badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila, Penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai Ketua Umum pada tahun 2011-2012. Selain itu penulis juga

aktif di Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM) FMIPA Unila Sebagai Ketua Umum pada periode 2012-2013. Penulis aktif terlibat dalam kegiatan praktikum sebagai asisten Fisika Dasar I 2012-2014, asisten Fisika Dasar II 2011-2013, Elektronika Dasar I dan Elektronika Dasar II pada tahun 2010, Pemrograman Ilmu Komputer 2011-2014, Fisika Komputasi 2011-2014, Fisika Inti dan Bahasa Assembler tahun 2011 serta asisten Sensor dan Pengkondisian Sinyal, dan Mikrokontroler tahun 2013, sebagai koordinator laboratorium fisika dasar tahun 2014 dan sebagai koordinator laboratorium fisika komputasi tahun 2013-2016. Penulis pernah mengikuti lomba Inovasi Teknologi Bappeda Lampung tahun 2013. Pada bulan Januari-Februari 2012 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di bidang Transmisi Gunung Betung Lembaga Penyiaran Publik (LPP) Televisi Republik Indonesia (TVRI) Stasiun Lampung dengan judul “Sistem Kerja KD 2000 Pada Pemancar Lembaga Penyiaran Publik TVRI Lampung”. Dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gedong Pakuon Kecamatan Baradatu Kabupaten Way Kanan.

MOTTO

*“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka
apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan) tetaplah
berkerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada
Tuhanmulah engkau berharap”
(QS. Asy-Syarah: 5-8)*

*“Sebuah kata untuk perubahan yang baik bagi manusia pasti
enggan untuk di dengar dan pernyataan paling menakjubkan
seringkali di ucapkan dalam keheningan”*

“Kesungguhan adalah kunci kesuksesan”

Dengan Penuh Rasa Syukur kepada Allah SWT

Kuniatkan karya kecilku ini karna

Allah SWT

Aku Persembahkan Karya Ini Untuk:

**Kedua Orang Tuaku Bapak Tupon dan Ibu Hayatun, Yang
Selalu Mendo'akanku**

**Bapak Iswandi Tibrani dan Ibu Ena Julaiha kedua orang
tuaku yang selalu memberi semangat**

Keluargaku, Yang Selalu Mendukungku

Angkatan '09, Para Sahabat dan Teman Seperjuanganku

Almamater Tercinta.

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya yang tiada batas sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Sayuran Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan**”.

Penyusunan skripsi ini merupakan karya ilmiah yang ditulis oleh mahasiswa program sarjana sebagai salah satu syarat kelulusan dan mendapatkan gelar akademik. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memberikan pengalaman belajar kepada mahasiswa dalam memecahkan masalah secara ilmiah dengan cara melakukan penelitian, menganalisis dan menarik kesimpulan serta menyajikan dalam bentuk skripsi.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kesalahan dan kekurangan untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, Desember 2016

Penulis

SANWACANA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, S.Si, M.Si., sebagai pembimbing I
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. sebagai pembimbing II
3. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Warsito, S.Si, D.E.A, Ph.D. selaku Penguji, Pembimbing Akademik dan Dekan FMIPA Unila
5. Teman-teman angkatan Aventus, Haidir, Mustaqim, Ningrum dan teman-teman angkatan 2009 lainnya. Saudara, teman dan sahabat seperjuangan Kak Budi, Kak Edo, Kak didik, Kak Mardi, Kak Fajar, Kak Rohmanto, Kak Juhdi, Encep, Karlina, Mujiono, Akhfi, Jovi, Abdan, Juplek, Hendri, dan Tanto serta semua pihak yang selalu memberi semangat penulis Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta mencatat seluruh kebaikan kita semua sebagai salah satu amal ibadah. Aamiin.

Bandar Lampung 23 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	ix
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu	7
B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	9
C. Teori Dasar.....	9
a. Sayuran.....	9
b. Kelistrikan Sayuran.....	10
c. Kandungan Vitamin dan Mineral Sayuran.....	13
d. Derajat Keasaman (pH).....	18
e. Elektrokimia.....	20
f. Sel Galvani.....	25
g. Elektroda	26
h. Potensial Elektroda.....	28
i. Arus dan Rapat Arus	35
j. Hambatan dan Resistivitas	37
k. Resistansi, Reaktansi dan Impedansi	39
l. Konduktivitas	41

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	47
B. Alat dan Bahan	47
C. Prosedur Penelitian.....	48
D. Diagram Alir Penelitian	50
E. Data Hasil Pengukuran.....	51

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	52
B. Pembahasan.....	54
1. Karakteristik Elektrik limbah sayuran 30 ml	55
2. Karakteristik Elektrik limbah sayuran 50 ml	66
3. Perubahan Nilai pH limbah sayuran.....	76

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan..... 80

B. Saran..... 81

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Lama umur dibanding tegangan dai sayuran	11
2.2 Skala pH dari 0 sampai 14	19
2.3. Sebuah kristal tembaga (Cu)	30
2.4. Rapat arus pada penghantar	37
2.5. Konduktivitas cairan atau gas (a), logam (b) dan semikonduktor (c)...	42
2.6. Hantaran listrik melalui larutan HCl.....	46
3.1. Media tempat uji karakteristik elektrik air laut.....	49
3.2. Diagram alir penelitian.....	50
4.1. Sel tempat uji karakteristik elektrik air laut yang terdiri dari elektroda positif (a), elektroda negatif (b) dan kabel penghubung (c)..	52
4.2. Rangkaian keseluruhan tempat uji karakteristik elektrik air laut yang terdiri dari elektroda positif (a), elektroda negatif (b), air laut (c), multimeter digital (d), stopwatch (e), kabel penghubung (f) dan LED (g)	53
4.3. Grafik hubungan limbah sayuran terhadap tegangan pada volume 30 ml hari pertama	57
4.4. Grafik hubungan limbah sayuran terhadap arus pada volume 30 ml hari pertama	58
4.5. Grafik hubungan limbah sayuran terhadap tegangan pada volume 30 ml hari kedua.....	60
4.6. Grafik hubungan limbah sayuran terhadap arus pada volume 30 ml hari kedua.....	61
4.7. Grafik hubungan limbah sayuran terhadap tegangan pada volume 30 ml hari ketiga	64

4.8. Grafik hubungan limbah sayuran terhadap tegangan pada volume 30 ml hari ketiga	65
4.9. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu limbah sayuran ampas pada volume 50 ml hari pertama.....	66
4.10. Grafik hubungan arus terhadap waktu limbah sayuran ampas pada volume 50 ml hari ketiga.....	67
4.11. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu limbah sayuran cair pada volume 50 ml hari pertama.....	68
4.12. Grafik hubungan arus terhadap waktu limbah sayuran cair pada volume 50 ml hari ketiga.....	68
4.13. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu limbah sayuran ampas pada volume 50 ml hari kedua	69
4.14. Grafik hubungan arus terhadap waktu limbah sayuran ampas pada volume 50 ml hari kedua	70
4.15. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu limbah sayuran cair pada volume 50 ml hari kedua	71
4.16. Grafik hubungan arus terhadap waktu limbah sayuran cair pada volume 50 ml hari kedua	71
4.17. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu limbah sayuran ampas pada volume 50 ml hari ketiga.....	73
4.18. Grafik hubungan arus terhadap waktu limbah sayuran ampas pada volume 50 ml hari ketiga.....	73
4.19. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu limbah sayuran cair pada volume 50 ml hari ketiga	75
4.20. Grafik hubungan arus terhadap waktu limbah sayuran cair pada volume 50 ml hari ketiga.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi gizi wortel per 100 gram.....	14
2.2 Komposisi gizi kubis per 100 gram	16
2.3 Komposisi gizi wortel per 100 gram.....	17
2.4 Komposisi gizi kangkung per 100 gram	18
2.5 Nilai deret volta.....	24
2.6 Perbandingan larutan elektrolit dan nonelektrolit.....	45
3.1. Data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran	51
3.2. Data pengamatan penurunan karakteristik elektrik limbah sayuran	51
4.1. Data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran 30 ml hari pertama.....	56
4.2. Data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran 30 ml hari kedua	59
4.3. Data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran 30 ml hari ketiga.....	63
4.4. Perubahan nilai pH.....	77

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi semakin lama semakin meningkat. Energi yang digunakan saat ini berasal dari minyak bumi. Namun, eksploitasi yang berlebihan terhadap minyak bumi mengakibatkan persediaannya semakin menipis. Tuhan menganugrahkan pada manusia akal untuk berfikir. Dengan akal manusia inilah teknologi-teknologi baru ditemukan. Kemajuan teknologi juga telah sampai pada penggunaan energi alternatif sebagai pengganti sumber energi utama yang semakin sedikit jumlahnya. Dengan kemajuan teknologi dan banyaknya temuan baru mengenai energi alternatif, negara kita Indonesia berupaya untuk menggunakan energi alternatif tersebut sebagai sumber listrik ataupun bahan bakar.

Selain itu, sumber energi alternatif akan membatasi konsumsi sumber energi tak terbarukan seperti minyak bumi dan batubara, serta yang paling penting, mengurangi pencemaran lingkungan dan efek negatif pada sumber daya alam seperti air, udara, hutan, dan lain-lain. Peningkatan penggunaan sumber energi alternatif pun akan menciptakan lapangan kerja baru sehingga

mempercepat pertumbuhan ekonomi. Masalah energi merupakan salah satu hal yang sedang hangat dibicarakan saat ini.

Di Indonesia, ketergantungan kepada energi fosil masih cukup tinggi hampir 50 % dari kebutuhan, terutama energi minyak dan gas bumi. Secara keseluruhan kebutuhan energi dalam negeri 95 % masih dipenuhi oleh energi fosil yang tidak terbarukan, sementara cadangan energi fosil dalam negeri terbatas sedangkan disisi lain laju pertumbuhan konsumsi energi cukup tinggi yaitu 7 % pertahun (ESDM, 2012).

Semakin berkurangnya sumber energi, penelitian untuk menemukan sumber energi baru maupun pengembangan energi-energi alternatif semakin meningkat. Penggunaan energi minyak bumi yang merupakan sumber energi utama saat ini. Pemanasan global yang diyakini sedang terjadi dan akan memasuki tahap yang mengkhawatirkan disebut-sebut juga merupakan dampak dari penggunaan energi minyak bumi. Dampak lingkungan dan semakin berkurangnya sumber energi minyak bumi memaksa kita untuk mencari dan mengembangkan sumber energi baru. Salah satu solusi untuk pemanfaatan energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik yaitu dengan menggunakan limbah.

Di indonesia paling dominan sampah berasal dari sampah rumah tangga. Hasil ini diketahui menggunakan asumsi sampah yang dihasilkan per individu setiap harinya sebesar 0,8 Kg. Jumlah timbunan sampah rata-rata harian di kota metropolitan, di mana jumlah penduduknya lebih dari 1 juta jiwa dan kota besar yang jumlah penduduknya 500 ribu sampai 1 juta jiwa, masing-

masingnya adalah 1.300 ton dan 480 ton. Selain berasal dari sampah rumah tangga, jenis sampah yang ada juga dihasilkan dari sampah plastik sebesar 14 %, kertas sebesar 9 %, sisanya terdiri dari logam, karet, kain, kaca dan lain-lain. Sementara dari sisi sumbernya, yang paling dominan rumah tangga sebanyak 48 %, pasar tradisional 24 %, dan kawasan komersial sebesar 9 %. Sisanya dari fasilitas publik, sekolah, kantor, jalan dan sebagainya (Ridho, 2014).

Limbah yang berupa buah-buahan dan sayur-sayuran yang sudah membusuk banyak terlihat di pasar sayur dan buah. Limbah merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia atau proses-proses alam, yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi, bahkan limbah dapat mempunyai nilai ekonomi yang negatif apabila penanganan untuk membuang atau membersihkannya memerlukan biaya yang cukup besar, disamping limbah juga bisa mencemari lingkungan (Santoso, 1998). Dari data yang diperoleh Pramono (2004) dari total sampah organik kota, sekitar 60% merupakan sayur-sayuran dan 40% merupakan daun-daunan, kulit buah-buahan dan sisa makanan.

Pada sayur-sayuran yang memiliki kandungan seperti asam, basa dan air (Lindstrom, tanpa tahun). Menurut Amin dan Dey (tanpa tahun), ketika buah dan sayuran mulai membusuk, terjadi proses kimia yang dikenal sebagai fermentasi. Selama proses ini, buah-buahan dan sayuran menghasilkan asam lebih yang meningkatkan kekuatan elektrolit dalam buah dan sayuran. Sehingga, jus sayuran yang busuk menjadi lebih reaktif dengan elektroda dan

menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada jus buah atau sayur yang segar. Dari sifat kelistrikan yang mengandung banyak elektrolit dari limbah buah-buahan dan sayur-sayuran tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik alternatif terbarukan.

Berdasarkan potensi yang ada maka akan dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik elektrik limbah sayuran agar dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan. Dalam hal ini limbah yang digunakan adalah limbah sayuran dari limbah rumah tangga. Untuk mengetahui karakteristik elektrik limbah sayuran tersebut, dilakukan pengukuran tegangan, hambatan, arus dan lama daya rangkaian dengan berbagai variasi bahan elektroda dan volume limbah sayuran yang telah dihaluskan dalam bentuk jus.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis karakteristik elektrik limbah sayuran dengan memanfaatkan dua elektroda yaitu tembaga (Cu), seng (Zn). Elektroda dimasukan pada sebuah media yang berisi limbah sayuran dengan kadar konsentrasi dan volume limbah sayuran tertentu. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai energi listrik terbarukan sebagai energi pengganti konvensional.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membuat media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran sebagai bahan energi alternatif.
2. Bagaimana hubungan antara volume limbah sayuran yang digunakan dengan karakteristik elektrik yang dihasilkan.
3. Mengetahui karakteristik bahan elektroda yang akan digunakan.
4. Mengetahui lamanya pemakaian limbah sayuran tiap selnya.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik elektrik limbah sayuran agar dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan.
2. Mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh limbah sayuran pada tiap selnya.
3. Memanfaatkan limbah sayuran sebagai sumber energi listrik baru dan terbarukan.
4. Ditemukannya sumber energi listrik terbarukan untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik.

D. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, batasan masalah penelitian meliputi.

1. Elektroda yang digunakan terdiri atas sepasang elektroda positif dan negatif, serta terbuat dari beberapa jenis bahan seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn)
2. Pengukuran karakteristik elektrik limbah sayuran dilakukan pada tegangan tanpa beban dan tegangan dengan menggunakan beban.
3. Data pengamatan yang diambil/diukur berupa tegangan, arus, hambatan dan lama pemakaian.
4. Jumlah media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran sebanyak 10 sel.
5. Waktu fermentasi 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Diketuinya karakteristik elektrik pada limbah sayuran agar dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan.
2. Sebagai referensi karakteristik elektrik pada limbah sayuran, sebagai sarana peningkatan ilmu pengetahuan dan teknologi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Wira (2013) menggunakan elektroda seng (Zn) dan karbon (C), penelitian dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama untuk mengetahui pengaruh jarak antar elektroda terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh bio-baterai tunggal limbah sayuran. Jarak antar elektroda yang digunakan adalah 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm dengan menggunakan elektroda Cu sebagai anoda dan Zn sebagai katoda. Luas elektroda yang digunakan (6 x 4) cm yang dicelupkan pada wadah bio-baterai dengan volume elektrolit 750 ml. Tahap kedua untuk mengetahui nilai kuat arus dan tegangan yang dihasilkan bio-baterai seripararel. Elektroda yang digunakan lempengan Cu dan Zn masing-masing 6 buah dengan 6 wadah bio-baterai yang akan disusun secara seri-pararel dan diukur kuat arus dan tegangan. Tahap ketiga adalah untuk mengetahui bio-baterai limbah sayuran mana yang dapat menyalakan lampu led yang paling lama. Tahap terakhir adalah mengukur hubungan kuat arus dan tegangan dengan pH. Mengacu pada hasil dan analisis secara keseluruhan didapatkan hasil bahwa perubahan variasi jarak, hambatan dan pH akan memberikan nilai kuat arus dan tegangan yang berbeda. Semakin dekat jarak antar elektroda,

semakin besar nilai arus dan tegangan, dan semakin besar nilai hambatan, kuat arus semakin kecil dan tegangan semakin besar. Begitu juga semakin besar nilai pH maka semakin kecil kuat arus dan tegangan yang dihasilkan dan sebaliknya.

Lain halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Imamah (2013), penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek kelistrikan yang ditimbulkan oleh variasi bahan elektroda yang terdapat pada limbah buah jeruk. Penelitian dilakukan dengan menggunakan berbagai variasi bahan elektroda seperti tembaga (Cu), aluminium (Al), besi (Fe), timah (Pb) dan kuningan. Variasi jarak mulai dari 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm serta variasi hambatan mulai 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω dan 10 M Ω dengan menggunakan 3 parameter pengukuran yaitu pengukuran arus dan tegangan bio baterai tunggal, pengukuran biobaterai secara seri paralel serta pengukuran tegangan dan lama nyala LED pada rangkaian seri paralel. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa dari berbagai variasi tersebut diperoleh nilai arus dan tegangan yang berbeda-beda. Pengukuran bio baterai tunggal menunjukkan bahwa bahan elektroda mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan, untuk pasangan Cu-Fe pada hambatan dan jarak yang sama menghasilkan tegangan yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,315 mA dan 0,3 Volt dibandingkan dengan elektroda lainnya seperti Al-Kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al. Begitu juga dengan variasi jarak, dimana semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan akan semakin kecil.

B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini penulis mencoba mengukur karakteristik elektrik limbah sayuran dengan menggunakan elektroda, elektroda yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua jenis bahan yaitu seng (Zn) dan tembaga (Cu). Bahan elektroda ini nantinya dibentuk menjapasan elektroda. Limbah sayuran yang digunakan merupakan limbah sayuran yang telah dihaluskan dan di fermentasi selama 3 hari. Karakteristik elektrik limbah sayuran dapat diketahui melalui pengukuran tegangan, arus dan hambatan dengan menggunakan multimeter digital. Pada penelitian ini dilakukan dua tahap pengukuran yaitu pengukuran karakteristik elektrik limbah sayuran tanpa beban dan pengukuran karakteristik elektrik limbah sayuran dengan menggunakan beban, beban yang digunakan adalah lampu LED dengan memakai hambatan tertentu. Hasil dari penelitian karakteristik limbah sayuran ini nantinya dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan.

C. Teori Dasar

a. Sayuran

Sayuran merupakan bahan makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (bahan makanan nabati). Bagian tumbuhan yang dapat dimakan dan dijadikan sayur adalah daun, batang, bunga dan buah muda sehingga dapat dikatakan bahwa semua bagian tumbuhan dapat dijadikan sayur (Sumoprastowo, 2000). Dalam hidangan orang Indonesia, sayur mayur adalah sebagai makanan pokok pemberi serat dalam hidangan serta

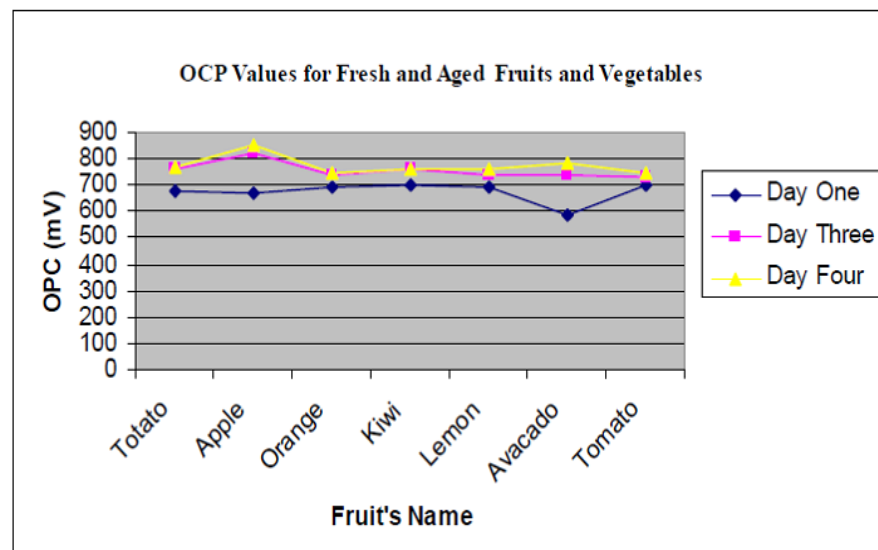
pembasah karena umumnya dimasak berkuah (Santoso, 2004). Sayuran memiliki kandungan gizi dan fisiologi yang berlainan, akibat perbedaan jenis, bagian yang dipanen, atau tingkat pertumbuhan saat dipanen. Keragaman sayuran tersebut memerlukan suatu penerapan teknologi penanganan panen dan pasca panen yang berlainan. Tujuannya supaya konsumen mendapatkan sayuran dengan mutu terbaik. Tanaman sayuran dapat dibagi atas tiga jenis yang dipilah menurut bagian tanaman yang dipanen, yaitu: (1) sayuran daun yang dipanen bagian daunnya, seperti bayam, kangkung, katu, selada dan sawi, (2) sayuran biji dan polong, yang dipanen bagian polong dan bijinya seperti kapri, kacang hijau, kedelai, dan petadan (3) sayuran umbi dan buah yang dipanen bagian umbi dan buahnya misalnya wortel, kentang, ubi jalar, tomat dan cabai. Caisin atau biasa dikenal sawi bakso, mempunyai ciri-ciri yaitu tangkai daunnya panjang, langsing, dan berwarna putih kehijauan. Daunnya lebar memanjang, tipis, dan berwarna hijau. Rasanya yang renyah dan segar dengan sedikit sekali rasa pahit membuat sawi ini banyak diminati (Haryanto, 2007).

b. Kelistrikan Sayuran

Pada dasarnya suatu larutan asam dapat menghantarkan elektron dan menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan sebagai bio-baterai. Prinsip penelitian ini hanya melibatkan transportasi elektron antara dua elektroda yang dipisahkan oleh medium konduktif (elektrolit) yang memberikan kekuatan gerak elektro berupa potensial listrik dan arus. Pada elektroda elektrolit, elektron mengalir dibawa oleh ion-ion dan

kemudian mengalami elektrolisis. Elektrolisis berarti perubahan kimia yang diproduksi dengan melewati arus listrik melalui elektrolit. Aliran elektron dari katoda melalui elektrolit keanoda. Katoda adalah elektroda negatif, seperti lempengan tembaga, dan anoda adalah elektroda positif, seperti lempengan seng. Proses ini menghasilkan listrik dengan cara yang sama sebagai baterai volta.

Menurut Amin dan Dey (tanpa tahun), ketika sayuran mulai membusuk, terjadi proses fermentasi yang menghasilkan asam yang lebih yang meningkatkan kekuatan elektrolit dalam sayuran. Sehingga, jus dari sayuran yang busuk menjadi lebih reaktif dengan elektroda dan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada jus sayur yang segar. Dari hasil penelitian yang di dapatkan oleh Amin dan Dey, disajikan dalam grafik dibawah ini :



Gambar 2.1 Lama Umur dibanding tegangan dari Sayuran (Amin dan Dey, tanpa tahun)

Dalam penelitian Marience (2006) terdapat hubungan konduktivitas listrik, pH dengan lama hari penyimpanan wortel. Lama waktu penyimpanan yang makin lama cenderung menyebabkan konduktivitas listriknya semakin meningkat, hal ini dapat disebabkan karena sifat larutan yang semakin asam tersebut. Pada suatu larutan apabila konsentrasi ion H^+ meningkat berarti ion OH^- -nya menurun, berarti bahwa ion H^+ yang mudah bergerak di dalam larutan tersebut, sehingga larutan bersifat asam dan konduktivitas listriknya meningkat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konduktivitas cenderung meningkat dengan lama penyimpanan. Hal tersebut dikarenakan sifat larutan yang semakin asam. Konduktivitas listrik menunjukkan tingkat kemampuan cairan dalam menghantarkan listrik yaitu yang berhubungan dengan pergerakan ion didalam larutan, ion yang mudah bergerak mempunyai daya hantar listrik yang besar. Konduktivitas listrik larutan dipengaruhi oleh jumlah ion, mobilitas ion, tingkat oksidasi serta suhu. Pada suatu larutan apabila konsentrasi ion H^+ meningkat berarti ion OH^- -nya menurun, berarti bahwa ion H^+ yang mudah bergerak di dalam larutan tersebut, sehingga larutan bersifat asam dan konduktivitas listriknya meningkat. Sebaliknya nilai pH sari wortel semakin menurun jika disimpan semakin lama. Perubahan pH karena lama penyimpanan menyebabkan kerusakan sari wortel yang ditandai dengan rasa sari wortel yang semakin asam dan warnanya menjadi lebih kecoklatan. Perubahan pH ini juga dapat disebabkan oleh adanya mikro organisme. Mikro organisme yang dapat tumbuh pada kisaran pH sampel (pH 3 - 6) antara lain khamir (dapat tumbuh pada pH

rendah 2,5 –8,5) dan kapang (mempunyai pH optimum 5– 7, tetapi masih dapat tumbuh pada pH 3 –8,5). Pengaruh penambahan asam sitrat karena lamanya proses penyimpanan pada sari wortel mengakibatkan pH sari wortel semakin menurun.

c. Kandungan Vitamin dan Mineral dalam sayuran

1. Tomat

Tomat merupakan klasifikasi dari buah maupun sayuran, walaupun struktur tomat adalah struktur buah. Tomat (*Lycopersicum esculentum*) merupakan salah satu produk hortikultura yang berpotensi, menyehatkan dan mempunyai prospek pasar yang cukup menjanjikan. Tomat, baik dalam bentuk segar maupun olahan, memiliki komposisi zat gizi yang cukup lengkap dan baik. Buah tomat terdiri dari 5-10% berat kering tanpa air dan 1 % kulit dan biji. Jika buah tomat dikeringkan, sekitar 50% dari berat keringnya terdiri dari gula-gula pereduksi (terutama glukosa dan fruktosa), sisanya asam-asam organik, mineral, pigmen, vitamin dan lipid. Tomat (*Lycopersicum esculentum Mill*) termasuk tanaman setahun (*annual*) yang berarti umurnya hanya untuk satu kali periode panen. Tanaman ini berbentuk perdu atau semak dengan panjang bisa mencapai 2 meter (Wiryanta,2002).

2. Wortel

Asal usul wortel tidak begitu jelaskarena hampir terdapat di seluruh dunia secara merata. Di Eropa dan Amerika penanaman wortel dilakukan bersama-sama dengan radish, sedangkan di Indonesia penanaman wortel

umumnya bersama-sama jagung, ubi, bawang bakung, lobak dan kentang. Wortel segar dapat diolah lebih lanjut dengan jalan dikalengkan, dikeringkan dan diawetkan untuk makanan bayi. Selain itu wortel dapat dibuat menjadi sari wortel yang dibotolkan. Kandungan utama wortel adalah air sebanyak 88,2 %. Wortel segar banyak mengandung gizi antara lain karoten, protein, vitamin dan mineral-mineral. Komposisi kimia wortel menurut Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI (2014).

Tabel 2.1 Komposisi gizi wortel per 100 gram (DepkesRI.2014)

Komposisi Satuan Jumlah	Satuan	Jumlah
Protein g 1,20	g	1,2
Lemak g 0,30	g	0,3
Hidrat Arang mg 9,30	mg	9,3
Ca (kalsium) mg 39,00	mg	39
P(Pospor) mg 37,00	mg	37
Fe (Besi) mg 0,80	mg	0,8
Vitamin A SI 12.000,00	SI	12.000
Vitamin B mg 0,06	mg	0,06
Vitamin C mg 6,00	mg	6
Air g 88,20	g	88,2

3. Kubis

Kubis atau kol adalah jenis sayuran yang sangat umum dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Tanaman sayuran ini memiliki nama ilmiah *Brassica olearacea var.capitata*. Bagian tanaman ini yang sering dimanfaatkan adalah daunnya yang berbentuk seperti krop atau bulatan yang pipih. Kubis dibagi menjadi dua jenis yaitu kubis putih (*Brassica olearacea var.capitata sub.var. alba*) dan kubis merah (*Brassica olearacea var.capitata sub.var. rubra*). Kubis adalah tanaman yang

dapat tumbuh di daerah tropis. Secara biologi tanaman ini adalah tanaman dwimusim (*biennial*). Tanaman ini sering dibudidayakan di daerah dataran tinggi dan dapat menghasilkan bunga dan biji. Setelah berbunga tanaman ini akan mati.

Kubis memiliki manfaat bagi tubuh sebagai sumber vitamin, serat, glukosinolat, dan senyawa antikarsinogenik. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kubis juga mengandung antioksidan *phytochemical* (asam askorbat, lutein, β -caroten, DL- α -tocopherol, dan phenolic). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa antioksidan sangat berpengaruh untuk menurunkan kadar kolesterol dan mencegah terjadinya penyakit kardiovaskular. Kubis juga mengandung senyawa yang merangsang pembentukan gas di dalam lambung sehingga menyebabkan rasa kembung (zat-zat goiterogen) dan rasa tidak nyaman di perut. Senyawa glukosinolat dalam kubis menyebabkan rasa pahit.

Serat yang terkandung didalam kubis akan menghambat penyerapan lipid didalam pencernaan. Serat makanan akan berikatan dengan asam empedu (produk akhir kolesterol) dan membawanya keluar bersama tinja. Vitamin C berfungsi untuk menurunkan kadar kolesterol, memperlancar pencernaan, dan digunakan untuk sintesis kolagen di dalam tubuh. Penelitian lain menyebutkan bahwa konsumsi vitamin C yang cukup dapat menghindari kerusakan pembuluh darah sehingga menghambat terbentuknya plak. Niasin atau lebih dikenal sebagai vitamin B3 dapat menurunkan produksi VLDL di dalam hepar sehingga kadar kolesterol

LDL yang dilepas dalam sirkulasi menurun. Niasin juga memacu pembentukan prostaglandin I berfungsi menghambat penggumpalan trombosit yang berakibat terbentuknya plak.

Tabel 2.2. Komposisi gizi kubis per 100 gram

Komposisi gizi	Kubis merah/Putih	Kubis-krop
Kalori (kal.)	25	25
Protein (gr)	1,4	1,7
Lemak (gr)	0,2	0,2
Karbohidrat (gr)	5,3	5,3
Kalsium (mg)	46	64
Fosfor (mg)	31	26
Zat besi (mg)	0,5	0,7
Natrium (mg)	-	8
Niasin (mg)	-	0,3
Serat (gr)	-	0,9
Abu (gr)	-	0,7
Vitamin A (SI)	80	75
Vitamin B(mg)	0,1	0,1
Vitamin C (mg)	50	62
Air (gr)	92,4	-

Food and Nutrition Research Center, Manila

4. Kentang

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang bergizi. Zat gizi yang terdapat dalam kentang antara lain karbohidrat, mineral (besi, fosfor, magnesium, natrium, kalsium, dan kalium), protein, serta vitamin terutama vitamin C dan B1. Selain itu, kentang juga mengandung lemak dalam jumlah yang relatif kecil, yaitu 1.0 – 1.5% (Prayudi, 1987). Komposisi kimia kentang sangat bervariasi tergantung varietas, tipe tanah, cara budidaya, cara pemanenan, tingkat kemasakan dan kondisi penyimpanan. Kandungan zat gizi dalam 100 g kentang disajikan dalam Tabel

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Kentang Tiap 100 g

Komponen	Jumlah	Jumlah
Protein (g)		2.00
Lemak (g)		0.10
Karbohidrat (g)		19.10
Kalsium (mg)		11.00
Fosfor (mg)		56.00
Serat (g)		0.30
Zat besi (mg)	0.70	0.70
Vitamin B1 (mg)	0.09	0.09
Vitamin B2 (mg)	0.03	0.03
Vitamin C (mg)	16.00	16.00
Niasin (mg)	1.40	1.40
Energi (kal)	83.00	83.00

Sumber: Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI (2014)

5. Kangkung

Kangkung mempunyai nama latin *Ipomoea aquatica* (untuk kangkung air), *Ipomoea reptans* (untuk kangkung darat) ternyata pada awalnya berasal dari India, kemudian menyebar ke Malaysia, Birma, Indonesia, China Selatan, Australia, dan Afrika. Di China, Kangkung dikenal dengan nama Weng Cai. Di Eropa, Kangkung disebut Swamp Cabbage, Water Convovulus, atau Water Spinach. Tanaman Kangkung masuk ke dalam suku Convolvulaceae atau keluarga kangkung-kangkungan. Kangkung merupakan tanaman yang tumbuh cepat dan sudah memberikan hasil hanya dalam waktu 4 hingga 6 minggu. Dalam satu musim saja, kangkung bisa tumbuh dengan panjang 30 hingga 50 cm (Anna, 1996). Kandungan zat gizi dalam 100 g kangkung disajikan dalam tabel berikut

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Kangkung Tiap 100 g (anna, 1996)

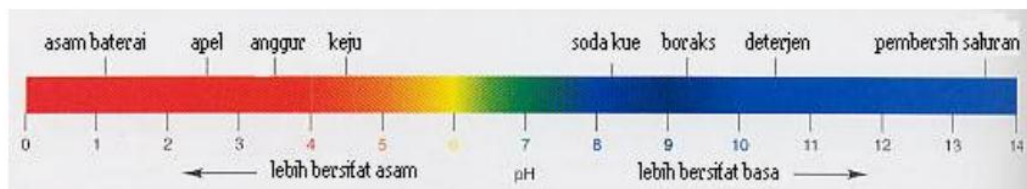
Komponen	Jumlah	Jumlah
Protein (g)		3.00
Lemak (g)		0.30
Karbohidrat (g)		5.40
Kalsium (mg)		73.00
Fosfor (mg)		50.00
Serat (g)		0.30
Zat besi (mg)	0.70	3.00
Vitamin B1 (mg)	0.09	0.07
Vitamin B2 (mg)	0.03	0.03
Vitamin C (mg)	16.00	32.00
Niasin (mg)	1.40	1.50
Energi (kal)	83.00	29.00

d. Derajat Keasaman (pH)

Asam sebagai suatu senyawa yang apabila dilarutkan dalam air akan membebaskan ion hidrogen (H^+). Bronsted dan Lowry mendefinisikan asam sebagai senyawa yang dapat memberikan proton pada spesies lain. Lewis mendefinisikan suatu asam sebagai senyawa yang dapat menerima sepasang elektron. Berdasarkan definisi Lewis tentang asam, jelas bahwa terdapat keasaman antara asam dengan pengoksidasi. Kedua-keduanya cenderung untuk menarik elektron. Dinamakan *elektrofilik* atau *elektron attracting agent*. Asam akan menerima pasangan elektron dari basa membentuk ikatan kovalen, sedangkan pengoksidasi menerima elektron (Bird,1987).

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^+ . Nilai pH sama dengan negatif logaritma konsentrasi ion H^+ dan secara matematika diungkapkan dengan dengan pH. Selain itu, pH yang merupakan konsentrasi ion hidronium dalam larutan ditunjukkan dengan skala secara matematis dengan nomor 0 sampai 14. 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 basa.



Gambar 2.2 Skala pH dari 0 sampai 14(Sugiarto,2004)

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

$$\text{pH} = -\log [H^+] \quad (2.1)$$

Hubungan Tingkat Keasaman dengan pH 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 (Sugiarto,2004)

e. Elektrokimia

Elektrokimia adalah reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik. Dalam elektrokimia melibatkan reaksi yang sering disebut reaksi oksidasi dan reduksi atau biasa disingkat dengan redoks.

1) Reaksi Oksidasi dan Reduksi

Adalah reaksi dengan perpindahan elektron dari satu senyawa ke senyawa yang lain, misalnya $\text{Cu} + 2 \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{+2} + 2 \text{Ag}$

2) Oksidator dan Reduktor

Oksidator adalah yang menerima elektron sedangkan reduktor adalah yang memberikan elektron.

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 2Volt. Aki 12Volt 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, 1993).

b) 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).

c) 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).

d) 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. Konsep Reduksi-Oksidasi (Redoks)

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).

3. 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. 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 2.6 menunjukkan nilai deret volta.

Tabel 2.5. Nilai deret volta(Silberberg, 2000).

Reaksi Reduksi	Logam	E° (Volt)
$\text{Li}^+ + e^-$	Li	-3.04
$\text{K}^+ + e^-$	K	-2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2e^-$	Ba	-2.90
$\text{Ca}^{2+} + 2e^-$	Ca	-2.87
$\text{Na}^+ + e^-$	Na	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2e^-$	Mg	-2.37
$\text{Al}^{3+} + 3e^-$	Al	-1.66
$\text{Mn}^{2+} + 2e^-$	Mn	-1.18
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^-$	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{Zn}^{2+} + 2e^-$	Zn	-0.76
$\text{Cr}^{3+} + 3e^-$	Cr	-0.71
$\text{Fe}^{2+} + 2e^-$	Fe	-0.44
$\text{Cd}^{2+} + 2e^-$	Cd	-0.40
$\text{Co}^{2+} + 2e^-$	Co	-0.28
$\text{Ni}^{2+} + 2e^-$	Ni	-0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2e^-$	Sn	-0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2e^-$	Pb	-0.13
$2\text{H}^+ + 2e^-$	H_2	0.00
$\text{Sn}^{2+} + 2e^-$	Sn^{2+}	+0.13
$\text{Bi}^{3+} + 3e^-$	Bi	+0.30
$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	Cu	+0.34
$\text{Ag}^+ + e^-$	Ag	+0.80
$\text{Pt}^{2+} + 2e^-$	Pt	+1.20
$\text{Au}^{3+} + 3e^-$	Au	+1.50

4. Potensial Sel Volta

Potensial sel Volta dapat ditentukan melalui percobaan dengan menggunakan Voltmeter atau potensiometer. Potensial sel Volta dapat

juga dihitung berdasarkan data potensial elektroda positif (katoda) dan potensial elektroda negatif (anoda).

$$E^{\circ} \text{ sel} = E^{\circ} \text{ katoda} - E^{\circ} \text{ anoda} \quad (2.2)$$

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

f. Sel Galvani

Sel galvanik adalah sel dimana energi bebas dari reaksi kimia diubah menjadi energi listrik, disebut juga sebagai sel elektrokimia (Dogra,1990). 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 galvanik atau sel volta dapat menghasilkan energi listrik sebagai hasil reaksi kimia yang berlangsung spontan. Cara kerja dari sel galvanik 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).

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 0,00Volt.

- a) Bila $E^{\circ} > 0 \rightarrow$ cenderung mengalami reduksi (bersifat oksidator)
- b) Bila $E^{\circ} < 0 \rightarrow$ 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 (ΔV) 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, et al, 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). 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. Di Indonesia sudah banyak diproduksi karbon aktif dari tempurung kelapa.

Ketika dua buah konduktor seperti Cu-Zn dan C-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) pada rangkaian tertutup kedua elektroda tersebut, dengan kata lain 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.

1. Karakteristik Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu, berasal dari bahasa latincuprum 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 (Cu)

Logam ini termasuk logam berat *non ferroy* 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 (Van Vliet, et al, 1984).

Struktur kristal tembaga murni adalah *face centered cubic (FCC)* dan memiliki titik leleh 1084,62°C. Pada Tabel 2.7 diperlihatkan sifat fisis mekanik dan sifat panas dari tembaga murni.

Tabel 2.6. 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
Brinell hardness	874 MN m ⁻²
Sifat Panas	
Koefisien ekspansi thermal	16,5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Konduktivitas panas	400/ mK

Tembaga merupakan logam berwarna kuning seperti emas kuning dan keras bila tembaga tersebut tidak murni, tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat, serta tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yaitu sebesar $59,6 \times 10^6$ S/m, oleh karena itu tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi atau kedua tertinggi diantara semua logam murni pada suhu kamar (Hammond, 2004).

2. Karakteristik Seng (Zn)

Seng dengan nama kimia *Zinc* dilambangkan dengan Zn merupakan salah satu unsur logam berat, Zn mempunyai nomor atom 30 dan memiliki berat atom 65,39. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150°C. Seng (Zn) melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C. Seng (Zn) dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Beberapa unsur kimia seng mirip dengan magnesium, hal ini dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu, keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2. Seng merupakan unsur yang melimpah dikerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Bijih seng yang paling banyak ditambang adalah seng sulfida (Slamet, 1994).

Luigi Galvani dan Alessandro Volta berhasil meneliti sifat-sifat elektrokimia seng pada tahun 1800. 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 (Zn) adalah komponen alam yang terdapat dikerak bumi. Zn adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Seng (Zn) dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Seng (Zn) dialam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk terikat

dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung seng (Zn) di alam bebas antara lain kalaminit, franklinite, smithsonite, willenit dan zinkit (Widowati,dkk, 2008).

3. Karakteristik Karbon (C)

Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan memiliki nomor atom 6 pada tabel periodik. Sebagai unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non logam dan bervalensi 4, yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Terdapat tiga macam isotop karbon yang ditemukan secara alami, yakni ^{12}C dan ^{13}C yang stabil dan ^{14}C yang bersifat radioaktif dengan waktu paruh peluruhannya sekitar 5730 tahun. Karbon merupakan salah satu diantara beberapa unsur yang diketahui keberadaannya sejak zaman kuno. Istilah karbon berasal dari bahasa Latin *carbo*, yang berarti batu bara (Lide, 2005). Karbon memiliki beberapa jenis alotrop, yang paling terkenal adalah grafit, intan dan karbon amorf. Sifat-sifat fisika karbon bervariasi bergantung pada jenis alotropnya (Haaland, 1976).

Semua alotrop karbon sangat stabil dan memerlukan suhu yang sangat tinggi untuk bereaksi, bahkan dengan oksigen. Keadaan oksidasi karbon yang paling umum ditemukan adalah +4 dan +2 dijumpai pada karbon monoksida dan senyawa kompleks logam transisi lainnya. Sumber karbon anorganik terbesar terdapat pada batu kapur, dolomit dan karbon dioksida, sedangkan sumber organik terdapat pada batu bara, tanah gambut, minyak

bumi dan klatrat metana. Karbon dapat membentuk lebih banyak senyawa daripada unsur-unsur lainnya, dengan hampir 10 juta senyawa organik murni yang telah dideskripsikan sampai sekarang. Karbon adalah unsur paling berlimpah ke-15 di kerak bumi dan ke-4 di alam semesta. Karbon terdapat pada semua jenis makhluk hidup dan pada manusia, karbon merupakan unsur paling berlimpah kedua sekitar 18,5% setelah oksigen. Keberlimpahan karbon ini, bersamaan dengan keanekaragaman senyawa organik dan kemampuannya membentuk polimer membuat karbon sebagai unsur dasar kimiawi kehidupan. Unsur ini adalah unsur yang paling stabil diantara unsur-unsur yang lain, sehingga dijadikan acuan dalam mengukur satuan massa atom. Keistimewaan unsur karbon dibandingkan dengan unsur golongan IV A yang lain, unsur karbon secara alamiah mengikat dirinya sendiri dalam rantai, baik dengan ikatan tunggal C–C, ikatan rangkap dua C=C, maupun ikatan rangkap tiga C≡C. Hal ini terjadi karena unsur karbon mempunyai energi ikatan yang kuat, yaitu sebesar 356 kJ/mol (Libby, 1952).

Karbon memiliki berbagai bentuk alotrop yang berbeda-beda, meliputi intan yang merupakan bahan terkeras di dunia sampai dengan grafit yang merupakan salah satu bahan ter lunak. Karbon juga memiliki afinitas untuk berikatan dengan atom kecil lainnya, sehingga dapat membentuk berbagai senyawa dengan atom tersebut. Oleh karenanya, karbon dapat berikatan dengan atom lain, termasuk dengan karbon sendiri yang dapat membentuk hampir 10 juta jenis senyawa yang berbeda. Karbon juga memiliki titik

lebur dan titik sublimasi yang tertinggi diantara semua unsur kimia (Watson, 1999).

i. 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 Δt telah lewat sejumlah Δq muatan maka arus listrik I yang mengalir dapat dinyatakan:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (2.3)$$

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 dituliskan:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.4)$$

dengan:

q = banyaknya muatan listrik (C);

I = kuat arus (A);

t = waktu (s).

Dengan demikian, 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. 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:

$$V = \frac{W}{Q} \quad (2.5)$$

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 (I) 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:

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.6)$$

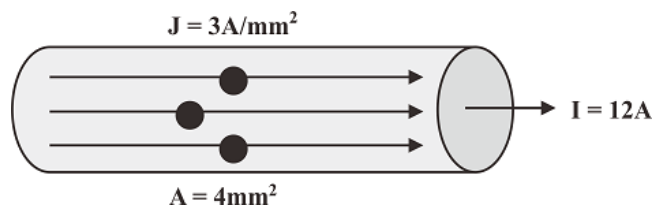
dengan:

J = rapat arus (A/m^2);

I = kuat arus (A);

A = luas penampang kawat (m^2).

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 4mm^2 , maka kerapatan arusnya adalah 3A/mm^2 . Rapat arus pada penghantar terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.4. Rapat arus pada penghantar

(Haliday, 1989).

j. 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.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.7)$$

dengan:

V = tegangan listrik (V);

I = arus listrik (A);

R = hambatan listrik (Ω).

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 resistnsi merupakan sifat dari suatu bahan.

Tabel 2.7. Sifat-sifat logam sebagai penghantar(Haliday, 1989).

No	Logam	Resistivitas (pada 20°) $10^{-8} \omega. m$	Temperatur koefisien resistivitas, α , per °C(x 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.

k. 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 dan Kemmerly, 1972).

1. Resistansi

Resistansi adalah gesekan untuk melawan gerakan elektron. Resistansi terdapat pada semua konduktor bahkan pada superkonduktor 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 dan Kemmerly, 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 dan Kemmerly, 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 dan Winfield 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 dan Kemmerly, 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° .

1. 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. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio dari rapat arusterhadap kuat medan listrik:

$$J = \sigma E \quad (2.8)$$

dengan:

J = kerapatan arus listrik (A/m^2);

σ = konduktivitas bahan (S/m);

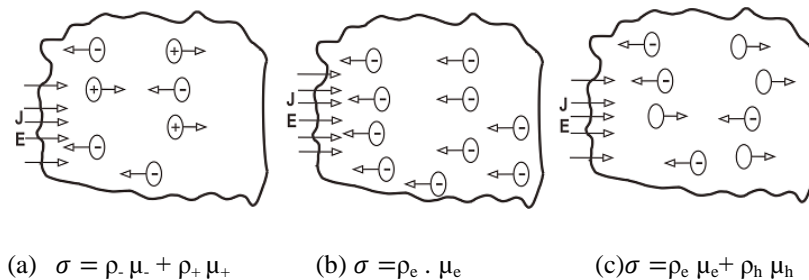
E = kuat medan Listrik (N/C).

Konduktivitas adalah kebalikan dari resistivitas, yang dihubungkan oleh persamaan:

$$\sigma = 1/\rho \quad (2.9)$$

(Halliday, 1989).

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 2.3(a). Pada konduktor logam, hanya elektron valensi saja yang bebas bergerak. Pada gambar 2.3(b) elektron-elektron itu digambarkan bergerak ke kiri. Konduktivitas disini hanya mengandung satu suku, yakni hasil kali rapat muatan elektron-elektron konduksi ρ_e dengan mobilitas μ_e .



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

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 2.3 (c), konduktivitas σ disini terdiri dari dua suku, satu untuk elektron, lainnya untuk lubang. Dalam konduktivitas σ salah satu dari kerapatan ρ_e atau ρ_h akan jauh melampaui yang lainnya (Sinaga, 2010).

1. Konduktivitas Elektrik

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 % 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.

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:

$$K = c \frac{l}{A} \quad (2.10)$$

dengan:

K = konduktivitas (mho/cm);

c = konduktansi(mho);

A = luas elektroda(cm³);

l = jarak antara elektroda (cm).

Dari persamaan di atas suatu konduktansi dengan nilai 1 mho dapat dinyatakan sebagai kemampuan hantar dari zat cair yang berukuran luas penampang 1 cm² dan jarak 1 cm atau volume zat cair sebesar 1 cm³ untuk arus 1 ampere dengan tegangan 1 Volt. Jika arus yang dapat dihantarkan lebih besar lagi, maka konduktansinya lebih besar pula. Jika pada suatu resistor dialirkan arus yang membesar, maka tahanan atau resistansinya akan mengecil. Hal ini berarti bahwa konduktivitas adalah kebalikan dari resistansi, mho = 1/ohm (Sinaga, 2010).

Hubungan satuan antara elektroda-elektroda dengan sel konduktivitas standar disebut dengan konstanta sel (K). Hal itu dapat diturunkan dengan persamaan:

$$K = c \frac{l}{A} \quad \text{atau} \quad c = \frac{K}{l/A} \quad (2.11)$$

Jarak l dan A besarnya tetap, sehingga l/A merupakan tetapan yang disebut sebagai konstanta sel. Jika $l/A = F$, maka $c=K/F$. F adalah konstanta sel dengan satuan $1/\text{cm}^{-1}$ atau cm konduktivitas. Konstanta sel berkisar antara 0,01 sampai 100 untuk selkonduktivitas (Sinaga. 2010).

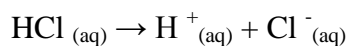
2. Perbedaan Larutan Berdasarkan Konduktivitas

Berdasarkan daya hantar listriknya, larutan dibedakan menjadi 2 golongan yaitu larutan elektrolit dan larutan non elektrolit. Perbedaan antara kedua larutan ini terlihat pada Tabel 2.10.

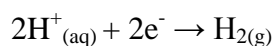
Tabel 2.5. Perbandingan larutan elektrolit dan larutan non elektrolit

No	Larutan Elektrolit	Larutan Non Elektrolit
1	Dapat menghantarkan listrik	Tidak dapat menghantarkan listrik
2	Terjadi proses ionisasi	Tidak terjadi proses ionisasi
3	Lampu dapat menyala terang atau redup dan ada gelembung gas	Lampu tidak menyala dan tidak ada gelembung gas
	Contoh:	Contoh:
	Garam dapur (NaCl)	Larutan gula (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)
	Cuka dapur (CH ₃ COOH)	Larutan urea (CONH) ₂
	Air aki (H ₂ SO ₄)	Larutan alkohol (C ₂ H ₅ OH)
	Garam magnesium (MgCl ₂)	Larutan glukosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)

Misalnya, larutan HCl di dalam air mengurai menjadi kation (H^+) dan anion (Cl^-). Reaksi ionisasi yang terjadi sebagai berikut:



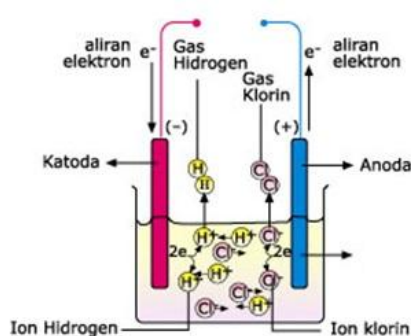
Ion H^+ akan bergerak menuju katoda, mengambil elektron dan berubah menjadi gas hidrogen,



sementara itu, ion Cl^- akan bergerak menuju anoda, melepas elektron dan berubah menjadi gas klorin



Jadi hantaran listrik melalui larutan HCl terjadi karena ion-ion H^+ menangkap elektron pada katoda dengan membebaskan gas Hidrogen. Sedangkan ion-ion Cl^- melepaskan elektron pada anoda dengan menghasilkan gas klorin. Dengan demikian, dapat di jelaskan bahwa arus listrik dalam larutan merupakan aliran muatan (aliran ion-ion) (Sinaga, 2010).



Gambar 2.6. Hantaran listrik melalui larutan HCl

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pemodelan Fisika dan Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Januari 2016 sampai Desember 2016.

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 limbah sayuran.
2. Gergaji besi, digunakan untuk memotong tembaga dan seng dalam pembuatan elektroda.
3. Tang, untuk membentuk bahan elektroda agar dapat digunakan dengan baik.
4. Blender untuk menghaluskan limbah sayuran.
5. pH meter untuk mengukur derajat keasaman limbah sayuran.

6. Gunting, digunakan untuk memotong kabel agar antar media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran saling terhubung.
7. Gelas ukur sebagai alat pengukur volume limbah sayuran.
8. Spidol, digunakan untuk mencatat data pengamatan dan keperluan lainnya.

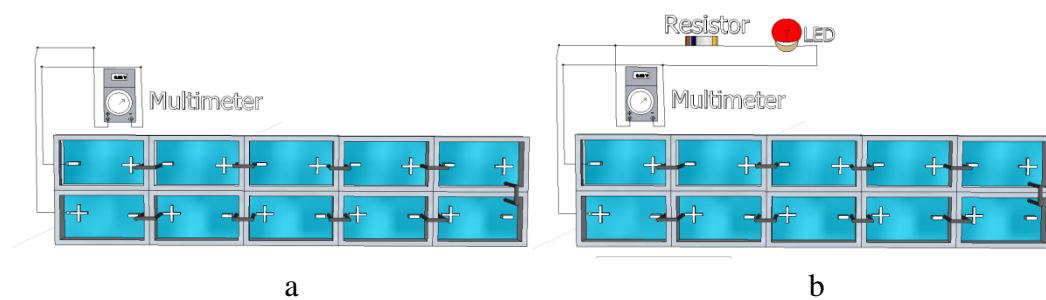
Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah.

1. Limbah sayuran, digunakan sebagai elektrolit untuk diketahui karakteristik elektriknya.
2. Akrilik, untuk membuat media tempat penampungan limbah sayuran yang akan diujikarakteristik elektriknya.
3. Tembaga (Cu), seng (Zn), digunakan sebagai elektroda.
4. Perekat, untuk membentuk media tempat penampungan limbah sayuran yang akan diuji karakteristik elektriknya.
5. Kabel dan jepit buaya untuk menghubungkan antar media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran.
9. Lampu LED, digunakan untuk menguji keberadaan karakteristik elektrik limbah sayuran.

C. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik elektrik limbah sayuran dengan menggunakan elektroda, elektroda yang digunakan terdiri dari beberapa jenis bahan. Perancangan dan pembuatan media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran dibuat dari bahan akrilik yang dibentuk menjadi kotak persegi agar dapat digunakan untuk menampung limbah

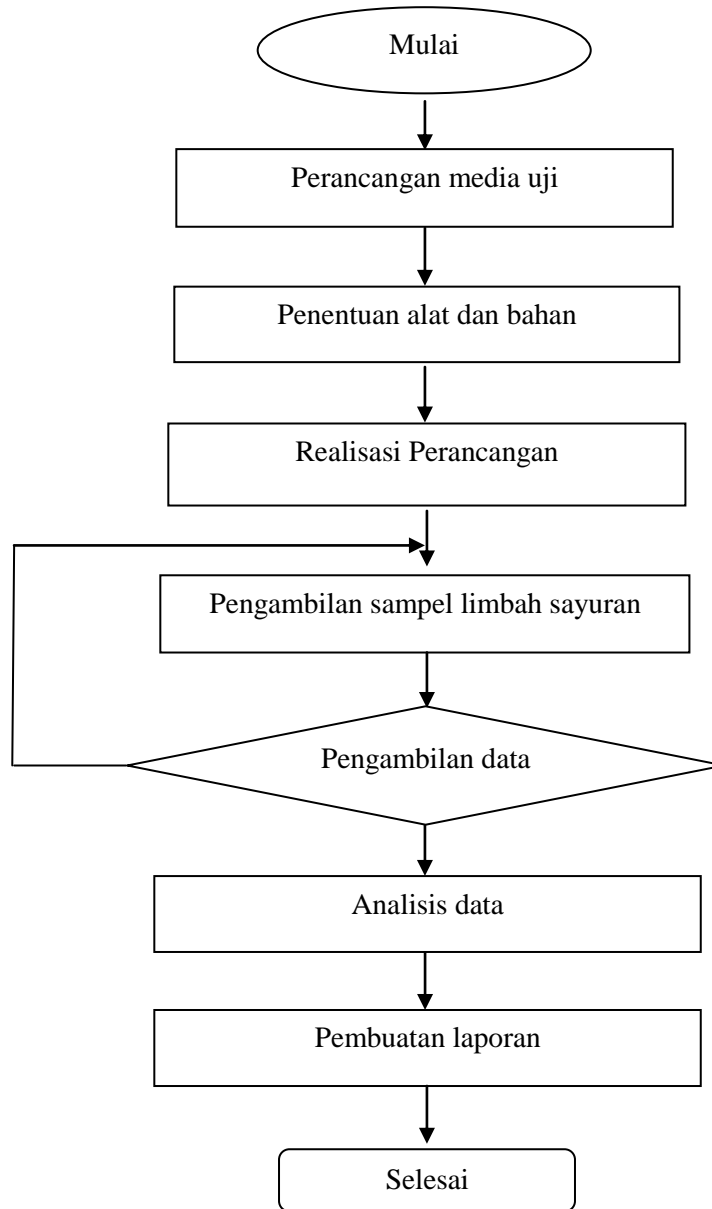
sayuran. Setelah media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran ini terbentuk, kemudian dilakukan pengambilan data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran dengan menggunakan multimeter digital. Data pengamatan terdiri dari data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran tanpa beban dan data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran menggunakan beban. Beban yang digunakan adalah rangkaian LED dengan menggunakan hambatan tertentu. Media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran pada pengukuran tanpa beban dan pengukuran menggunakan beban terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Media tempat uji karakteristik elektrik limbah sayuran, pada pengukuran tanpa beban (a) dan pengukuran menggunakan beban (b)

D. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian karakteristik elektrik limbah sayuran sebagai sumber energi listrik terbarukan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

E. Data Hasil Pengamatan

Pada penelitian ini, karakteristik elektrik limbah sayuran yang akan diperoleh berupa tegangan, arus dan hambatan yang dapat diketahui dengan menggunakan multimeter digital. Data pengamatan pada penelitian ini terdiri dari data pengamatan karakteristik elektriklimbah sayuran tanpa beban dan data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran menggunakan beban. Tabel 3.1 dan tabel 3.2 merupakan rancangan tabel data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran tanpa beban dan menggunakan beban.

Tabel 3.1. Data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran tanpa beban

No	Volume Sample (ml)	Jumlah sel limbah sayuran	Tegangan (volt)
1			
2			
3			
4			
5			

Tabel 3.2. Data pengamatan karakteristik elektrik limbah sayuran menggunakan beban

Waktu (menit)	Jenis sayur (ml)	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Hambatan tiap sel	pH
0					
1					
2					
3					
4					
5					

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Variasi limbah sayuran menghasilkan tegangan dan arus yang berbeda, limbah sayuran yang memiliki nilai arus yang besar yaitu campuran arus $173 \mu\text{A}$ dan yang terkecil yaitu kol $1 \mu\text{A}$.
2. Setelah dilakukan fermentasi selama 3 hari nilai arus dan tegangan pada limbah sayuran mengalami peningkatan (0,01-0,03) volt dan (1-5) μA perhari, hal ini terjadi karena limbah sayuran mengalami kenaikan tingkat keasaman.
3. Nilai pH pada limbah sayuran sangat berpengaruh. Semakin besar nilai pH maka semakin kecil kuat arus dan tegangan yang dihasilkan dan sebaliknya. Nilai pH terkecil dihasilkan oleh limbah sayuran campuran dengan nilai pH 3,8 dan tegangan terbesar dihasilkan dengan nilai 2,97 volt dan arus $173 \mu\text{A}$.

B. Saran

Untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut, saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Melakukan fermentasi yang lebih lama untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan yang lebih besar.
2. Untuk memperbesar nilai arus dan tegangan bukan dengan cara menambah volume pada limbah, melainkan dengan menambah umlah sel pada saat karakterisasi.
3. Disarankan untuk menggunakan limbah sayuran yang memiliki nilai pH yang kecil agar memperoleh nilai arus dan tegangan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M.N., dan Dey, P.D.(Tanpa Tahun). *Electrochemical Analysis of Fruit and Vegetable Freshness*. California : Universitas Nasional.
- Bambang, Prayudi,. 2010. *Budidaya dan Pascapanen Kentang (Solanum tuberosum L.)*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Jawa Tengah.
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Brady, J.E. 1998. *Kimia Universitas Asas dan Struktur*. Jakarta : Binarupa Aksara.
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI. 2014. *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Jakarta : Bharata.
- Departemen Kesehatan RI (2014). *Pedoman Gizi Pada Bahan Pangan* Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat Direktorat Gizi masyarakat, Jakarta.
- Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- ESDM. 2012. *Indonesia Energy Outlook 2012*. Jakarta: Kementrian ESDM.
- Haaland, D. 1976. *Graphite-liquid-vapor triple point pressure and the density of liquid carbon*. Carbon14 (6): 357.
- Halliday, D and Robert Resnick. 1989. *Fisika Edisi Ketiga Jilid 2*. Penerjemah: PanturSilabandanErwikSucipto.Erlangga: Jakarta.
- Hammond, C.R. 2004. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition*. CRC press.
- Hiskia, Ahmad.1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.
- Horowitz, Paul andWilliam Hill. 1989. *The Art of Electronics*. Cambridge University Press. hal. 32-33.

- Imamah, Aisyah N. 2013. Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Variasi Jarak Antar Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan oleh Limbah Buah Jeruk (*Citrus sp.*). *Skripsi*. Universitas Jember.
- Jauharah, Wira Dian. 2013. Analisis Kelistrikan yang dihasilkan Limbah Buah dan Sayuran sebagai Energi Alternatif Bio-baterai. Jawa Barat: Universitas Jember
- Keenan, Kleinfelter Wood. 1984. *Kimia Untuk Universitas Edisi Keenam Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Laksanawati, Anna. 1996. Rampai-Pampai Kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.). Lembang: Badan Penelitian Tanaman dan Sayuran.
- 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.
- Libby, W.F. 1952. *Radiocarbon Dating*. Chicago University Press and references therein.
- Lide, D.R. 2005. *CRC Handbook of Chemistry and Physics (ed. ke-86)*. Boca Raton: CRC Press.
- Marince, R. 2006. *Karakteristik Fisik dan pH Sari Wortel*. Skripsi. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Pramono, S.S. 2004. *Studi Mengenai Komposisi Sampah Perkotaan di Negeranegara Berkembang*. Jakarta : Universitas Gunadarma.
- Purnomo, H. 2010. Pengaruh Keasaman Buah Jeruk Terhadap Konduktivitas Listrik. *ORBITH* 6(2) :276-281.
- Oren, Y. 2008. *Capacitive deionization (CDI) for desalination and watertreatment past, present and future (a review)*, *Desalination*. No. 228, hal. 10-29.
- Santoso, B. 1998. *Pupuk Kompos*. Yogyakarta : Kanisius.
- Silberberg, Martin 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 2 Desember 2015.
- Slamet, J.S. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

- Syukri, S. 1999. *Kimia Dasar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Van Vliet, et al. 1984. *Rheology and structure of milk protein gels. Current Opinion Colloid Interface Science*. England: Horwood Ltd.
- Watson, A. 1999. *Beaming Into the Dark Corners of the Nuclear Kitchen*. Science 286 (5437): 28-31.
- Widowati, W., Astiana Sastionodan Raymond Jusuf. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- William, Hayt J.R. and Jack E. Kemmerly. 1972. *Rangkaian Listrik Edisi Keempat Jilid 1*. Penerjemah: PanturSilaban. Jakarta: Erlangga.
- .
- Wiryanta, B. 2002. *Bertanam tomat*. Jakarta : Agromedia Pustaka.
- .