



**EFEK VARIASI BAHAN ELEKTRODA SERTA VARIASI JARAK  
ANTAR ELEKTRODA TERHADAP KELISTRIKAN YANG  
DIHASILKAN OLEH LIMBAH BUAH JERUK (*Citrus sp.*)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Aisyah Noor Imamah  
NIM 081810201010**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**EFEK VARIASI BAHAN ELEKTRODA SERTA VARIASI JARAK  
ANTAR ELEKTRODA TERHADAP KELISTRIKAN YANG  
DIHASILKAN OLEH LIMBAH BUAH JERUK (*Citrus sp.*)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

**oleh:**

**Aisyah Noor Imamah  
NIM 081810201010**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2013**

## **PERSEMBAHAN**

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Sumardi S.Pd, dan Ibu Siti Nurjannah, terima kasih atas kasih sayang, dukungan, nasihat dan doa yang senantiasa mengiringi langkah bagi keberhasilanku, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya;
2. Yalin Iswahyudi dan Ribus Iswahyudi terima kasih telah memberikan dukungan, doa dan bantuan materi dalam keberhasilanku semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya;
3. guru-guru dan dosen-dosen, terima kasih telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Handik Triyawan yang telah memberiku motivasi dan kasih sayang serta mengisi hari-hariku dan menjadi penyemangatku dan menemaniku saat susah dan senang;
5. teman-teman Biofisika dan angkatan 2008, terima kasih atas motivasi dan persaudaraannya;
6. Almamater yang kubanggakan di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

## **MOTTO**

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan " **(QS. Al-Insyroh ayat 6)<sup>1)</sup>**

"Allah akan meninggikan orang – orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat "

**(terjemahan Surat Al- Mujadalah ayat 11)<sup>1)</sup>**

---

<sup>1)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. Al-Quran dan Terjemahannya. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafis

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aisyah Noor Imamah

NIM : 081810201010

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Efek Variasi Bahan Elektroda serta Jarak Antar Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan Oleh Limbah Buah Jeruk (*Citrus sp.*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa, dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

## **SKRIPSI**

# **EFEK VARIASI BAHAN ELEKTRODA SERTA VARIASI JARAK ANTAR ELEKTRODA TERHADAP KELISTRIKAN YANG DIHASILKAN OLEH LIMBAH BUAH JERUK (*Citrus sp.*)**

Oleh

Aisiyah Noor Imamah  
NIM 081810201010

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Dra. Arry Y. Nurhayati.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Jarak Antar Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan Oleh Limbah Buah Jeruk (Citrus sp.)* telah diuji dan disahkan pada :

hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

### Tim Penguji

Dosen Pembimbing Umum,

Dosen Pembimbing Anggota,

Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D.

Dra. Arry Y. Nurhayati

NIP 19620311 198702 1 001

NIP 19610909 198601 2 001

Penguji I

Penguji II

Ir. Misto, M.Si.

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

NIP 19591121 199103 1 002

NIP 19700327 199702 2 001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.

NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

**Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Variasi Jarak Antar Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan oleh Limbah Buah Jeruk (*Citrus sp.*)** ; Aisiyah Noor Imamah, 081810201010; 2013: 48 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kebutuhan akan sumber energi saat ini sedang dicari. Masalah – masalah tersebut diharapkan akan dapat dicarikan solusinya melalui pemanfaatan energi alternatif yang berasal dari bahan- bahan yang tersedia dan belum dimanfaatkan secara lebih luas. Energi alternatif tersebut selain merupakan energi yang ramah lingkungan merupakan energi yang dapat diperbaharui melalui pemanfaatan limbah organik seperti buah- buahan. Beberapa hasil penelitian telah menemukan bahwa beberapa jenis buah dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Bahan organik yang dimanfaatkan ialah asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) yang banyak terdapat pada buah-buahan, terutama buah lemon yang memiliki kandungan asam sitrat paling banyak dibandingkan buah lain. Pada dasarnya suatu larutan asam dapat menghantarkan elektron dan menghasilkan arus listrik. Dari uraian tersebut pemanfaatan asam sitrat yang terdapat pada buah sebagai salah satu komponen bio-baterai dapat digunakan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek kelistrikan yang ditimbulkan oleh variasi bahan elektroda yang terdapat pada limbah buah jeruk. Penelitian tersebut dapat memberi gambaran terhadap masyarakat terutama petani jeruk tentang pemanfaatan limbah jeruk yang awalnya limbah tersebut dibuang akan tetapi dengan adanya percobaan ini limbah dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi listrik khususnya dipergunakan sebagai bio-baterai.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan berbagai variasi yaitu variasi bahan elektroda seperti tembaga (Cu), aluminium (Al), besi (Fe), timah (Pb) dan kuningan. Variasi jarak mulai dengan 2cm, 4cm, 6cm, 8cm dan 10cm serta variasi hambatan mulai  $1k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $100k\Omega$ ,  $1M\Omega$ ,  $10M\Omega$  dengan menggunakan 3 parameter pengukuran yaitu pengukuran arus dan tegangan bio-baterai tunggal, pengukuran bio-baterai secara seri paralel serta pengukuran tegangan dan lama nyala LED pada rangkaian seri paralel.

Pada hasil didapatkan bahwa dari berbagai variasi tersebut memberikan efek tentang nilai arus dan tegangan yang dihasilkan. Begitu juga dengan lama nyala LED yang dihasilkan dari berbagai macam bahan elektroda. Secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa pengukuran bio-baterai tunggal menunjukkan bahwa bahan elektroda mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan dimana untuk pasangan Cu-Fe pada hambatan dan jarak yang sama menghasilkan tegangan yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,315mA dan 0,3volt dibandingkan dengan elektroda lainnya seperti Al - Kuningan, Cu - Pb, Kuningan - Cu, Cu - Al. Begitu juga dengan variasi jarak, dimana semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan akan semakin kecil. Pengukuran kelistrikan yang kedua yaitu dengan menghubungkan rangkaian bio-baterai secara seri dan paralel dimana hasil yang diperoleh untuk nilai arus dan tegangan semakin besar dibandingkan dengan pengukuran yang pertama yaitu untuk elektroda Cu - Fe sebesar 1,73volt dan 1,11mA begitu juga dengan elektroda lainnya. Pengukuran yang ketiga yaitu pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai yang dirangkai secara seri dan paralel diperoleh hasil bahwa pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan tegangan yang paling tinggi dan nyala LED paling lama yaitu sebesar 1,58volt dan menyala selama 18,14 jam.

## PRAKATA

*Alhamdulillahirobilalamin*, segala syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***“Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Variasi Jarak Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan Oleh Limbah Buah Jeruk (Citrus sp.)”***. Karya ilmiah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs.Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc, PhD.,selaku Dosen Pembimbing Utama, Dra. Arry Yuariatun Nurhayati., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, bimbingan, saran, dalam penulisan skripsi ini, serta penyediaan fasilitas penelitian;
2. Ir. Misto, M.Si.,selaku Dosen Penguji I, Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran, bimbingan, kritik, dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Ayahanda Sumardi S.Pd dan Ibunda Siti Nurjannah, terima kasih atas pemberian bahan dalam penelitian ini serta kasih sayang, dukungan, nasihat dan doa yang senantiasa mengiringi langkah bagi keberhasilanku, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya ;
4. Wira Dian Jauharah terima kasih yang telah memberikan bantuan tenaga, doa dan dukungannya selama penelitian ini, dan semua pihak yang telah membantu dengan tulus dan ikhlas dalam penyelesaian skripsi.

Penyusunan Skripsi ini tidak luput dari kekurangan dan penulis mengharapkan adanya masukan, kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan pengetahuan bagi yang membacanya.

Jember, Mei 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Tujuan .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Manfaat .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Elektrokimia .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Jenis – jenis Sel Elektrokima .....	7
2.1.2 Konsep Reduksi – Oksidasi .....	8
2.1.3 Deret Elektrokimia (Deret Volta) .....	8
2.1.4 Potensial Sel Volta .....	9

2.2 Baterai .....	9
2.3 Sel Galvani .....	10
2.4 Elektrolisis .....	11
2.5 Elektroda .....	11
2.5.1 Jenis – jenis Elektroda .....	12
2.5.2 Potensial Elektroda Standar ( $E^{\circ}$ ) .....	13
2.6 Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit .....	13
2.7 Kelistrikan Buah .....	14
2.8 pH (Derajat Keasaman) .....	15
2.9 Massa jenis .....	16
2.10 <i>Fuel Cell</i> .....	16
2.11 Jeruk ( <i>Citrus sp</i> ) .....	17
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	19
3.2 Alat dan Bahan .....	19
3.3 Tahap - tahap Penelitian .....	20
3.3.1 Tahap Persiapan .....	20
3.3.2 Tahap Pengambilan Data .....	23
3.3.3 Tahap Analisa Data .....	26
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil dan Analisis Data .....	28
4.1.1 Hasil Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pada Bio-baterai Tunggal dengan Variasi Bahan dan Jarak Elektroda .....	28
4.1.2 Hasil Data Pengukuran Tegangan dan Arus Secara Seri dan Paralel Pada Bio-baterai .....	35
4.1.3 Pengukuran Tegangan Bio-baterai dan Lama Waktu Nyala LED Pada Bio-baterai Seri-Paralel .....	37
4.1 Pembahasan .....	39

**BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>44</b>

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Skema Penggolongan Sifat Larutan.....	13
Tabel 2.2	Jenis <i>Fuel Cell</i> Anorganik .....	17
Tabel 4.1	Nilai rata-rata hasil pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai seri-paralel .....	40

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Proses Transfer Elektron Pada Baterai..... 12
Gambar 2.2	Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i> ..... 19
Gambar 3.1	Tahapan Penelitian ..... 21
Gambar 3.2	Prototipe Bio- Baterai Ukuran 16cm x 8cm..... 22
Gambar 3.3	Prototipe Bio- Baterai Ukuran 10cm x 7cm..... 23
Gambar 3.4	Rangkaian Bio-Baterai Tunggal..... 24
Gambar 3.5	Rangkaian Bio-Baterai Secara Seri dan Paralel..... 25
Gambar 3.6	Rangkaian Bio-Baterai Hubungan Antara Tegangan dan lama nyala LED..... 25
Gambar 4.1	Hasil grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Fe ..... 28
Gambar 4.2	Hasil grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Fe ..... 28
Gambar 4.3	Hasil grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Al-Kuningan ..... 29
Gambar 4.4	Hasil grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Al-Kuningan..... 30
Gambar 4.5	Hasil grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Pb ..... 31
Gambar 4.6	Hasil grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Pb ..... 31
Gambar 4.7	Hasil grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Kuningan-Cu ..... 32
Gambar 4.8	Hasil grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Kuningan-Cu ..... 33
Gambar 4.9	Hasil grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Al ..... 34
Gambar 4.10	Hasil grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Al ..... 32

Gambar 4.11	Hasil grafik nilai arus pada pengukuran bio-baterai secara seri dan paralel .....	36
Gambar 4.12	Hasil grafik nilai tegangan pada pengukuran bio-baterai secara seri dan paralel .....	37
Gambar 4.13	Hasil grafik hasil pengukuran tegangan terhadap nyala LED pada bio-baterai seri dan paralel .....	38
Gambar 4.14	Hasil grafik hasil pengukuran lama waktu nyala LED pada bio-baterai seri dan paralel .....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Alat dan Bahan Penelitian .....	48
B. Tabel Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan pada Bio-baterai Tunggal .....	49
C. Tabel Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Secara Seri dan Paralel Pada Bio-baterai .....	59
D. Pengukuran Tegangan Bio-baterai dan Lama Waktu Nyala LED Pada Bio-baterai Seri dan Paralel .....	61

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan akan sumber energi saat ini sedang dicari. Masalah – masalah tersebut diharapkan akan dapat dicarikan solusinya melalui pemanfaatan energi alternatif yang berasal dari bahan- bahan yang tersedia dan belum dimanfaatkan secara lebih luas. Energi alternatif tersebut selain merupakan energi yang ramah lingkungan merupakan energi yang dapat diperbaharui melalui pemanfaatan limbah organik seperti buah- buahan. Menurut Pratama (2007) beberapa buah yaitu jeruk, apel, belimbing dan buah lain dapat juga menghasilkan energi listrik. Beberapa hasil penelitian telah telah menemukan bahwa beberapa jenis buah dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Bahan organik yang dimanfaatkan ialah asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) yang banyak terdapat pada buah-buahan, terutama buah lemon yang memiliki kandungan asam sitrat paling banyak dibandingkan buah lain. Pada dasarnya suatu larutan asam dapat menghantarkan elektron dan menghasilkan arus listrik. Dari uraian tersebut pemanfaatan asam sitrat yang terdapat pada buah sebagai salah satu komponen bio-baterai dapat digunakan (Kartawidjaja *et al.*, 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 potensial (Kartawidjaja *et al.*, 2008). Komponen utama pada baterai terdiri dari elektroda dan elektrolit. Prinsip kerja baterai 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).

Percobaan Kartawidjaja *et al* (2008) menggunakan perasan air lemon yang digunakan sebagai elektrolit bio-baterai dengan menggunakan variasi bahan elektroda yaitu tembaga (Cu), seng (Zn), aluminium (Al), besi (Fe), timah (Ti) dengan luas permukaan elektroda yang berbeda yaitu 24cm<sup>2</sup>, 16cm<sup>2</sup>, 8cm<sup>2</sup>. Hasil penelitian diperoleh pasangan bahan Cu – Zn menghasilkan tegangan paling tinggi yaitu sebesar 1,020 volt dibandingkan dengan kombinasi Cu - Fe, Al - Zn, Cu - Ni dan Cu - Al. Sedangkan luas permukaan elektroda dapat mempengaruhi besar tegangan yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektroda dengan luas 24cm<sup>2</sup> menghasilkan tegangan paling tinggi yaitu sebesar 1,022 volt dibandingkan dengan luas 10cm<sup>2</sup> dan 8cm<sup>2</sup> yang hanya menghasilkan tegangan sebesar 1,020 volt dan 1,018 volt (Kartawidjaja *et al.*, 2008).

Pada percobaan pembuatan bio-baterai yang telah dilakukan oleh Holly (2007) yang menggunakan bahan dan peralatan sederhana seperti paralon, kabel, lampu LED, alat bor, solder, multimeter, serta jeruk dan kentang. Prinsip percobaan tersebut merupakan cara kerja sel bahan bakar, *fuel cell*. Sel menghasilkan energi melalui suplai bahan, seperti glukosa, ke anoda serta oksidan ke katoda. Jadilah kandungan glukosa dalam empat buah jeruk menghasilkan 2,967 volt yang terlihat dalam multimeter. Hasil yang diperoleh dapat menyalakan lampu LED 3 volt. Tenaga yang dihasilkan kentang lebih besar dari jeruk. Empat kentang bisa mengeluarkan 3,625 volt. Sehingga cahaya yang dihasilkan lampu LED itu lebih terang.

Penemuan pemanfaatan buah sebagai sumber energi listrik dapat dikembangkan lagi untuk berbagai kebutuhan rumah tangga, seperti baterai untuk radio, jam dinding atau lampu penerangan bagi daerah pedesaan yang belum tersentuh listrik. Dalam penelitian Sunanto (2010) belimbing wuluh dapat digunakan sebagai bahan bio-baterai karena belimbing wuluh memiliki tingkat keasaman tinggi sehingga dapat mengantarkan ion dan elektron yang ada pada lempengan tembaga dan seng sehingga terciptalah arus listrik. Sedangkan percobaan Clarke (tanpa tahun) 60kg buah pisang mampu menyalakan alat elektronik rumah tangga seperti kipas pemanas ruangan (sekitar 1.000 watt) selama 30 jam.

Beberapa buah lain yang tidak digunakan adalah kulit durian yang mampu menghasilkan energi sebesar 1,25 volt dari 100gr kulit durian Alaudina (tanpa tahun), dan wortel segar yang mampu menghasilkan tegangan awal sebesar 0,392 – 0,319 volt dalam 9702 sekon (Abdalla.,*et al* , tanpa tahun). Pada penelitian Daniel dan Charlotte (1998) yang menggunakan prinsip- prinsip dari sel volta dengan menempatkan sel dan paku galvanis dalam lemon yang ditancapkan sehingga untuk satu lemon menghasilkan tegangan sebesar 1 volt. Pada penelitian tersebut tidak hanya menggunakan sebuah lemon segar melainkan menggunakan sebuah jus dari lemon tersebut dimana dalam satu buah lemon mengandung asam sitrat sebesar 5 – 8 % dengan pH 2,36 untuk lemon segar. Penelitian tersebut menggunakan berbagai macam variasi elektroda diantaranya yaitu Cu, Zn, C, Mg. Hasil dari penelitian tersebut yaitu untuk pasangan elektroda, (Zn - Cu: 0.979 volt , Zn - C: 0,989 volt) untuk tegangan, sedangkan besar arus yang diperoleh (Zn - Cu: 240 mA, Zn - C: 50 mA). Pada pasangan elektroda (Zn - C: 0,881 volt, 154 mA, Mg - C: 1,71 volt, 730 mA) (Daniel dan Charlotte, 1998).

Penelitian tentang kelistrikan limbah buah ini merupakan pengembangan hasil penelitian dari Alexander Volta. Dari penelitian volta disebutkan bahwa jika suatu deretan zat dimasukan ke larutan asam atau garam maka akan melepaskan muatan-muatan listrik. Berdasarkan teori itulah percobaan dengan mencelupkan dua logam yang termasuk deret volta seperti ujung kabel yang dihubungkan dari zat asam ke multimeter, sehingga multimeter tersebut akan menunjukkan besar tegangan listrik yang diperoleh dari percobaan tersebut. Zat asam tersebut diperoleh dari limbah buah-buahan yang sudah membusuk sehingga terjadi reaksi kimia dan mengantar listrik.

Limbah buah yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah limbah buah jeruk. Air jeruk tersebut mengandung banyak asam yang digunakan sebagai elektrolit yang merupakan larutan yang bersifat konduktor yang fungsinya sebagai media transfer elektron oleh ion-ion didalamnya. Elektrolit atau konduktor ionik yaitu 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. Elektrolit dapat berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia. Bio-baterai menggunakan elektrolit dari asam sitrat yang banyak terkandung dalam buah jeruk (Riyanto, 2011).

Penelitian ini menggunakan variasi bahan logam atau elektroda yaitu tembaga (Cu), kuningan, aluminium (Al), besi (Fe) dan timah (Pb). Dari ke lima bahan elektroda tersebut merupakan nama-nama unsur dari deret volta atau sel volta yang merupakan suatu sel elektrokimia yang terdiri atas dua buah elektroda yang dapat menghasilkan energi listrik akibat terjadinya reaksi redoks secara spontan pada elektroda tersebut. Elektroda yang dipergunakan mempunyai bahan dan luas permukaan yang mampu mempengaruhi jumlah tegangan yang dihasilkan karena setiap bahan elektroda memiliki tingkat potensial elektroda ( $E^0$ ) yang berbeda-beda, kombinasi bahan anoda dan katoda akan menghasilkan beda potensial. Menurut Rumeksa (2008) jika luas permukaan elektroda diperbesar maka kemungkinan akan semakin banyak elektron yang dapat dioksidasi dibandingkan dengan elektroda dengan luas permukaan yang kecil.

Berdasarkan uraian di atas penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui efek kelistrikan yang ditimbulkan oleh variasi bahan elektroda serta variasi jarak antar elektroda yang terdapat pada limbah buah jeruk. Sehingga dari penelitian tersebut dapat memberi gambaran terhadap masyarakat terutama petani jeruk tentang pemanfaatan limbah jeruk yang awalnya limbah tersebut dibuang akan tetapi dengan adanya percobaan ini limbah dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi listrik khususnya dipergunakan sebagai bio-baterai.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana efek dari variasi bahan elektroda serta variasi jarak elektroda terhadap kelistrikan yang dihasilkan oleh limbah jeruk (*Citrus sp.*)?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui efek dari variasi bahan elektroda serta variasi jarak elektroda terhadap kelistrikan yang dihasilkan oleh limbah jeruk (*Citrus sp.*).

## **1.4 Manfaat**

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efek variasi bahan elektroda terhadap kelistrikan yang dihasilkan oleh limbah jeruk (*Citrus sp.*).
2. Mengetahui efek dari variasi jarak elektroda terhadap kelistrikan yang dihasilkan oleh limbah jeruk (*Citrus sp.*).
3. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat khususnya petani jeruk bahwa limbah jeruk bukan hanya dibuang begitu saja akan tetapi bisa dimanfaatkan untuk sumber energi listrik.

## **1.5 Batasan Masalah**

Masalah penelitian ini dibatasi pada beberapa hal yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada suhu dan kelembaban ruangan yang sama, sehingga suhu dan kelembaban dianggap tidak mempengaruhi terhadap hasil penelitian.
2. Penelitian tidak meneliti efek variasi pH pada kelistrikan limbah buah yang dihasilkan, tetapi pengukuran pH digunakan sebagai informasi tingkat keasaman cairan pada saat pengukuran.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Elektrokimia

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

1. Reaksi Oksidasi atau reduksi adalah : Reaksi dengan perpindahan elektron dari satu senyawa ke yang lain.



2. Oksidator/Reduktor

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

Sel elektrokimia adalah alat yang digunakan untuk melangsungkan perubahan di atas. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan jalan 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 :

1. Anoda : Elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi
2. Katoda : Elektroda tempat berlangsungnya reaksi reduksi.
3. Larutan elektrolit, larutan ionik dapat menghantarkan arus, larutan ionik dianggap seperti "resistor" dalam suatu sirkuit maka ukuran dari sifat-sifat larutan adalah tahanan R, ( atau ekuivalent dengan konduktan L) mengikuti hukum Ohm (Bird, 1993).

### 2.1.1 Jenis-Jenis Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia terutama digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan.

#### a. Aki

Aki merupakan salah satu contoh sel sekunder karena reaksi reduksi yang berlangsung pada sel ini dapat dibalik dengan jalan mengalirkan arus listrik. Sel aki terdiri atas anoda Pb (Timbal hitam) dan katoda  $\text{PbO}_2$  (Timbal (IV) Oksida). Keduanya merupakan zat padat yang dicelupkan dalam asam sulfat. Kedua elektrode tersebut merupakan hasil reaksi yang tidak larut dalam asam sulfat, sehingga tidak diperlukan jembatan garam.

Tiap sel aki mempunyai beda potensial kurang lebih 2V. Aki 12V 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  $\text{PbSO}_4$  yang terdapat pada elektroda Pb itu direduksi. Sementara itu  $\text{PbSO}_4$  yang terdapat pada elektroda  $\text{PbO}_2$  mengalami oksidasi membentuk  $\text{PbO}_2$  (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 (jadi 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 kadang disebut sel kering asam karena adanya  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang bersifat asam. Sel leclanche tidak dapat diisi ulang (Bird, 1993).

c. Baterai alkalin

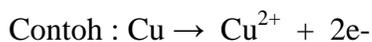
Baterai kering jenis alkalin pada dasarnya sama dengan sel Leclanshe, tetapi bersifat basa karena menggunakan KOH menggantikan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dalam pasta. Potensial dari baterai Alkalin juga sebesar 1,5 Volt, tapi baterai ini dapat bertahan lebih lama.

d. Baterai litium

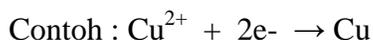
Baterai litium telah mengalami berbagai penyempurnaan. Baterai litium yang kini banyak digunakan adalah baterai litium-ion. Baterai litium ion tidak menggunakan logam litium, tetapi ion litium. Ketika ion litium digunakan, ion litium berpindah dari satu elektroda ke elektroda lainnya melalui suatu elektrolit.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

### 2.1.2 Konsep Reduksi – Oksidasi (Redoks)

Pada mulanya, pembahasan 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 lainnya.



Sedangkan reaksi reduksi adalah peristiwa penangkapan elektron, dimana suatu zat menerima elektron dari zat lain.



Senyawa yang mengalami oksidasi disebut sebagai reduktor, dan senyawa yang mengalami reduksi disebut sebagai oksidator (Syukri, 1999).

### 2.1.3 Deret Elektrokimia (Deret Volta)

Deret elektrokimia atau deret volta merupakan urutan logam-logam berdasarkan kenaikan potensial elektroda standarnya. Umumnya deret volta yang sering dipakai yaitu : Zn, Ni, Sn, Ca, Li, Ba, Na, K, Mg, Fe, Mn, Pb, Al (**H**), Hg, Au, Cu, Ag, Pt. 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) (Dogra,1990).

#### 2.1.4 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).

$$E^0_{\text{sel}} = E^0_{\text{katoda}} - E^0_{\text{anoda}} \dots \dots \dots (1)$$

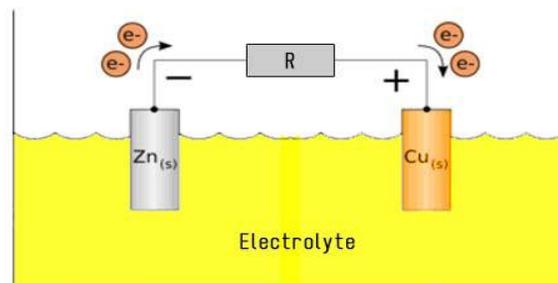
Katoda adalah elektroda yang mempunyai harga  $E^0$  lebih besar (lebih positif), sedangkan anoda adalah yang mempunyai  $E^0$  lebih kecil (lebih negatif) (Dogra, 1990).

## 2.2 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 *et al.*, 2008)

Bahan dan luas permukaan elektroda mampu mempengaruhi jumlah beda potensial yang dihasilkan. Setiap bahan elektroda memiliki tingkat potensial elektroda ( $E^0$ ) 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 *et al.*, 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).



Keterangan :

Zn : Elektroda seng

Cu : Elektroda tembaga

R : Hambatan

$e^-$  : Elektron

**Gambar 2.1** Proses transfer elektron pada baterai dalam (Kartawidjaja *et al.*, 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 2.1.) 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 *et al.*, 2008).

### 2.3 Sel Galvani

Semua reaksi kimia yang disebabkan oleh energi listrik serta reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik dipelajari dalam bidang elektrokimia. Manusia baru mampu menggunakan kelistrikan sejak Luigi galvani pada tahun 1791 menemukan bahwa pada kodok yang segar dapat bergetar jika dihubungkan dengan dua macam

logam bersambungan dan sejak 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 ke luar sel. Elektroda dapat juga atau tidak berperan serta 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 sebagai berikut,

- a. Pada anoda terjadi oksidasi dan elektron bergerak menuju elektroda.
- b. Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju ke elektroda.
- c. Elektron berindah dari katoda ke zat dalam elektrolit, zat yang menerima elektron mengalami reduksi (Hiskia,1992).

## **2.4 Elektrolisis**

Menurut Dogra (1990) elektrolisis adalah suatu proses dimana reaksi kimia terjadi pada elektroda yang tercelup dalam elektrolit, ketika tegangan diterapkan terhadap elektroda itu. Alat tempat berlangsungnya elektrolisis disebut sel elektrolisis. Dalam sel ini elektroda penghantar tempat listrik masuk ke dalam dan keluar dari zat- zat yang bereaksi, perpindahan elektron antara elektroda dan zat- zat dalam sel menghasilkan reaksi terjadi pada permukaan elektroda. Zat- zat yang dapat dielektrolisis adalah leburan ion dan larutan yang mengandung ion terlarut (Dogra, 1990).

## **2.5 Elektroda**

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa

Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara). Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda, kata-kata yang juga diciptakan oleh Faraday.

Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan ke sel elektrokimia tersebut. Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya (Hiskia, 1992).

#### 2.5.1 Jenis-jenis Elektroda

Ada dua jenis elektroda :

##### a. Anoda

Pada sel galvanik, anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan, elektron akan bermuatan negatif disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan, elektron akan dilepaskan oleh elektroda ini. 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

Merupakan elektoda- 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 ini 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 ini untuk direduksi. Dengan demikian, di sel galvanik, elektron bergerak dari anoda ke katoda dalam sirkuit eksternal. (Bird,1993).

## 2.5.2 Potensial Elektroda Standar ( $E^{\circ}$ )

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. Potensial ini relatif karena dibandingkan dengan elektroda hidrogen sebagai standar.

Nilai potensial elektroda standar dinyatakan dalam satuan Volt (V). Untuk elektroda hidrogen,  $E^{\circ}$  nya adalah 0,00V.

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

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

(Hiskia, 1992).

## 2.6 Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit

Menurut Arrhenius (1884) 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 skema penggolongan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Skema penggolongan sifat larutan

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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , dan KCl	NaCl $\rightarrow$ Na <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup> NaOH $\rightarrow$ Na <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> $\rightarrow$ 2H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> KCl $\rightarrow$ K <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup>

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan Lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Lemah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- terionisasi sebagian</li> <li>- menghantarkan arus listrik</li> <li>- lampu menyala redup</li> <li>- terdapat gelembung gas</li> </ul>	$\text{CH}_3\text{COOH}$ , $\text{N}_4\text{OH}$ , $\text{HCN}$ , dan $\text{Al}(\text{OH})^3$	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ $\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$ $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-$
Non Elektrolit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tidak terionisasi</li> <li>- tidak menghantarkan arus listrik</li> <li>- lampu tidak menyala</li> <li>- tidak terdapat gelembung gas</li> </ul>	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , $\text{CO}(\text{NH}_2)^2$ , dan $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ $\text{CO}(\text{NH}_2)^2$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Sumber: Seran (2011).

## 2.7 Kelistrikan Buah

Di Indonesia banyak dihasilkan macam buah-buahan yang beraneka ragam yang biasa kita temui dan kita konsumsi. Dalam masing-masing jenis buah memiliki berbagai rasa dan khasiat atau manfaat, sebagian besar orang-orang menyukai buah yang rasanya manis dan enak walaupun harganya mahal seperti apel, durian, anggur dan lainnya, akan tetapi sebagian orang memandang sebelah mata buah-buahan yang lain yang sangat murah dan mudah didapat di kebun meskipun rasanya tidak enak tetapi sebenarnya khasiat atau manfaatnya tidak kalah dengan buah-buahan yang biasa kita konsumsi yaitu misal belimbing wuluh, sebagian orang mungkin sudah pernah mengenal buah tersebut.

Reaksi antara potassium atau kalium dan garam sodium dapat membentuk kalium klorida atau KCl. Menurut Jamal (2008) KCl merupakan elektrolit kuat yang mampu terionisasi dan menghantarkan arus listrik. Pisang juga mengandung Magnesium dan Seng. Magnesium (Mg) dapat bereaksi dengan diklorida dan menjadi

elektrolit kuat. Jumlah Magnesium hanyalah 15 % dari jumlah pisang keseluruhan. Pisang juga mengandung Seng (Zn) yang merupakan elektroda positif. Jumlah kandungan Seng dalam pisang hanya mencapai 2 %. Sehingga mineral yang paling berperan dalam menghantarkan listrik adalah potassium atau kalium, yang bereaksi dengan garam sodium. Dimungkinkan garam magnesium dan seng juga turut berperan dalam menghantarkan dan menyimpan arus listrik searah (Jamal, 2008).

Percobaan Sucipto (2007) membuktikan bahwa kulit pisang dan jeruk dapat digunakan sebagai sumber arus listrik searah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh baterai kering dengan elektrolit kulit pisang adalah 1,24 volt. Ketahanan dalam jam dinding rata-rata selama 5 hari 6 jam (135 jam). Kontruksi baterai kering kulit pisang sama dengan baterai biasa. Kulit pisang mengandung beberapa mineral yang dapat berfungsi sebagai elektrolit. Mineral dalam jumlah terbanyak adalah potassium atau kalium (K<sup>+</sup>). Kulit pisang juga mengandung garam sodium yang mengandung klorida (Cl<sup>-</sup>) dalam jumlah sedikit (Sucipto, 2007).

Jeruk juga mengandung Seng (Zn) yang merupakan elektroda positif. Jumlah kandungan Seng dalam jeruk hanya mencapai 2 %. Sehingga mineral yang paling berperan dalam menghantarkan listrik adalah potassium atau kalium, yang bereaksi dengan garam sodium. Dimungkinkan garam magnesium dan seng juga turut berperan dalam menghantarkan dan menyimpan arus listrik searah.

## 2.8 pH (Derajat Keasaman)

pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. Istilah pH diturunkan dari konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan.

$$pH = \log_{10} \frac{1}{(H^+)} \dots \dots \dots (2)$$

(H<sup>+</sup>) ialah konsentrasi ion hidrogen. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai pH > 7 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai pH < 7 menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman tertinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat keasaman terendah (Gaman dan Sherrington, 1992).

Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit konduktivitas suatu larutan.

## 2.9 Massa Jenis

Massa jenis bahan didefinisikan sebagai massa per satuan unit volum. Satuan massa jenis dinyatakan dalam gram per sentimeter kubik atau kilogram per meter kubik (SI). Biasanya dilambangkan dengan  $\rho$  (rho) atau dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

$\rho$  : kerapatan ( $\text{kg/m}^3$ )

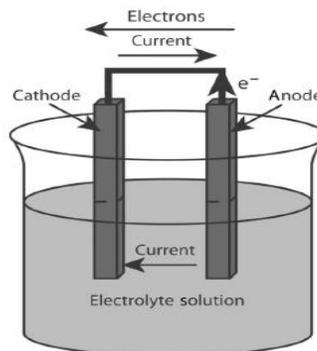
$m$  : massa (kg)

$V$  : volume ( $\text{m}^3$ )

Beberapa zat padat dan cairan massa jenisnya hampir tidak bergantung pada tekanan dan suhu, karena zat padat dan cairan mengembang sedikit bila dipanaskan dan menyusut sedikit bila dipengaruhi pertambahan tekanan eksternal sehingga perubahan volumenya relatif kecil (Tipler,1994).

## 2.10 Fuel cell

*Fuel cell* adalah merupakan teknologi elektrokimia yang secara kontinyu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik selama terdapat bahan bakar dan pengoksidan (Shukla *et al.* 2004). Dalam *fuel cell*, reaksi oksidasi terjadi pada anoda dan reaksi reduksi terjadi pada katoda. Reaksi oksidasi menghasilkan elektron yang dialirkan menuju katoda melalui sirkuit eksternal. Sirkuit menjadi sempurna dengan adanya pergerakan ion positif melalui elektrolit menuju ruang katoda (Bullen *et al.* 2006). Secara umum, prinsip kerja *fuel cell* dapat dilihat pada gambar 2.2



**Gambar 2.2** Prinsip kerja *fuel cell* (Sumber: Mench 2008).

*Fuel cell* konvensional beroperasi dengan menggunakan bahan kimia anorganik sederhana, seperti hidrogen dan metanol (MeOH), dan menghasilkan energi, air, dan karbondioksida (pada kasus metanol). *Fuel cell* konvensional dianggap bersuhu rendah jika beroperasi pada kisaran suhu 80°C (Bullen *et al.* 2006). Saat ini berbagai jenis *fuel cell* telah diteliti dan dikembangkan. Berbagai tipe *fuel cell* dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis *fuel cell* anorganik

<b>Tipe Fuel cell</b>	<b>Ion</b>	<b>Suhu Operasi (°C)</b>
Alkalin (AFC) OH	OH <sup>-</sup>	50-200
Proton exchange membran (PEMFC)	H	50 - 100
Phosphoric acid (PAFC)	H	220
Molten carbonat (MCFC)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	650
Solid oxide (SOFC)	O <sup>2-</sup>	500-1000

Sumber: Larminie dan Dicks (2000).

### 2.11 Jeruk (*Citrus sp.*)

Tanaman jeruk adalah tanaman buah tahunan yang berasal dari Asia. Cina dipercaya sebagai tempat pertama kali jeruk tumbuh. Sejak ratusan tahun yang lalu, jeruk sudah tumbuh di Indonesia baik secara alami atau dibudidayakan. Tanaman jeruk yang ada di Indonesia adalah peninggalan orang Belanda yang mendatangkan jeruk manis dan keprok dari Amerika dan Itali.

Jenis jeruk lokal yang dibudidayakan di Indonesia adalah jeruk Keprok (*Citrusreticulata/nobilis L.*), jeruk Siem (*C. microcarpa L.* dan *C.sinensis. L*) yang

terdiri atas Siem Pontianak, Siem Garut, Siem Lumajang, jeruk manis (*C. auranticum L.* dan *C. sinensis L.*), jeruk sitrun/lemon (*C. medica*), jeruk besar (*C. maxima Herr.*) yang terdiri atas jeruk Nambangan-Madium dan Bali. Keanekaragaman ini seringkali menyulitkan klasifikasi, penamaan dan pengenalan terhadap anggota-anggotanya, karena orang baru dapat melihat perbedaan setelah bunga atau buahnya muncul. Akibatnya tidak diketahui dengan jelas berapa banyak jenisnya (Rahardi *et al.*, 1998).

Penelitian-penelitian terakhir menunjukkan adalah keterkaitan kuat *Citrus* dengan genus *Fortunella* (kumquat), *Poncirus*, serta *Microcitrus* dan *Eremocitrus*, sehingga ada kemungkinan dilakukan penggabungan. *Citrus* sendiri memiliki dua anakmarga (subgenus), yaitu *Citrus* dan *Papeda* (Media Indonesia, 2006).

Buah jeruk adalah sumber vitamin C yang sangat baik. Satu buah jeruk saja sudah dapat memasok 116% kebutuhan vitamin C dalam satu hari. Vitamin C sangat bermanfaat untuk meningkatkan daya tahan tubuh, vitamin C juga bermanfaat untuk mengurangi resiko terkena kanker usus besar. Buah jeruk juga memiliki manfaat untuk menangkal radikal bebas yang sangat berbahaya bagi tubuh. Buah jeruk kaya akan antioksidan serta vitamin B6 yang mendukung produksi hemoglobin serta menjaga tekanan darah agar tetap normal. Antioksidan pada buah jeruk juga sangat bermanfaat bagi kesehatan kulit serta mampu menjaga keremajaan kulit meski anda telah berusia lebih dari 40 tahun. Selain buahnya, kulit buah jeruk juga mengandung senyawa yang disebut dengan Polymethoxylated flavon (PMFs) dan berfungsi untuk menurunkan kolesterol tanpa efek samping (Soelarso, 1996).

## **BAB 3. METODE PENELITIAN**

### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Negeri Jember, dari bulan Desember - Februari 2013 . Observasi telah dilakukan pada bulan Oktober 2012.

### **3.2 Alat dan Bahan**

#### **3.2.1 Alat**

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Multimeter Digital Peak Tech 830 B, sebagai alat pengukur tegangan dan arus bio-baterai.
2. Kabel dan jepit buaya sebagai penghubung rangkaian bio-baterai, voltmeter, amperemeter dan beban.
3. Timbangan digital sebagai alat pengukur massa elektroda.
4. Gelas ukur sebagai alat pengukur volume dari larutan.
5. pH meter digunakan sebagai alat pengukur pH.
6. Jangka sorong sebagai pengukur diameter elektroda.
7. Wadah plastik dengan ukuran  $16\text{cm} \times 8\text{cm}$  dan ukuran  $10\text{cm} \times 7\text{cm}$  lengkap dengan tutupnya sebagai wadah bio-baterai.
8. Perasan jeruk sebagai alat pemeras jeruk.

#### **3.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Jeruk (*Citrus sp.*) matang dengan massa rata-rata 101,45 g

2. *Variabel resistor* yang tersusun dari beberapa *rotary switch* yang dirangkai dengan beberapa resistor 1k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  dan 1M $\Omega$  didalamnya.
3. Dioda LED merah.
4. Elektroda
  - Tembaga (Cu)
  - Kuningan
  - Alumunium (Al)
  - Besi (Fe)
  - Timah (Pb)

### **3.3 Tahap Penelitian**

Tahap-tahap penelitian dapat digambarkan dalam bagan gambar 3.1 halaman 21

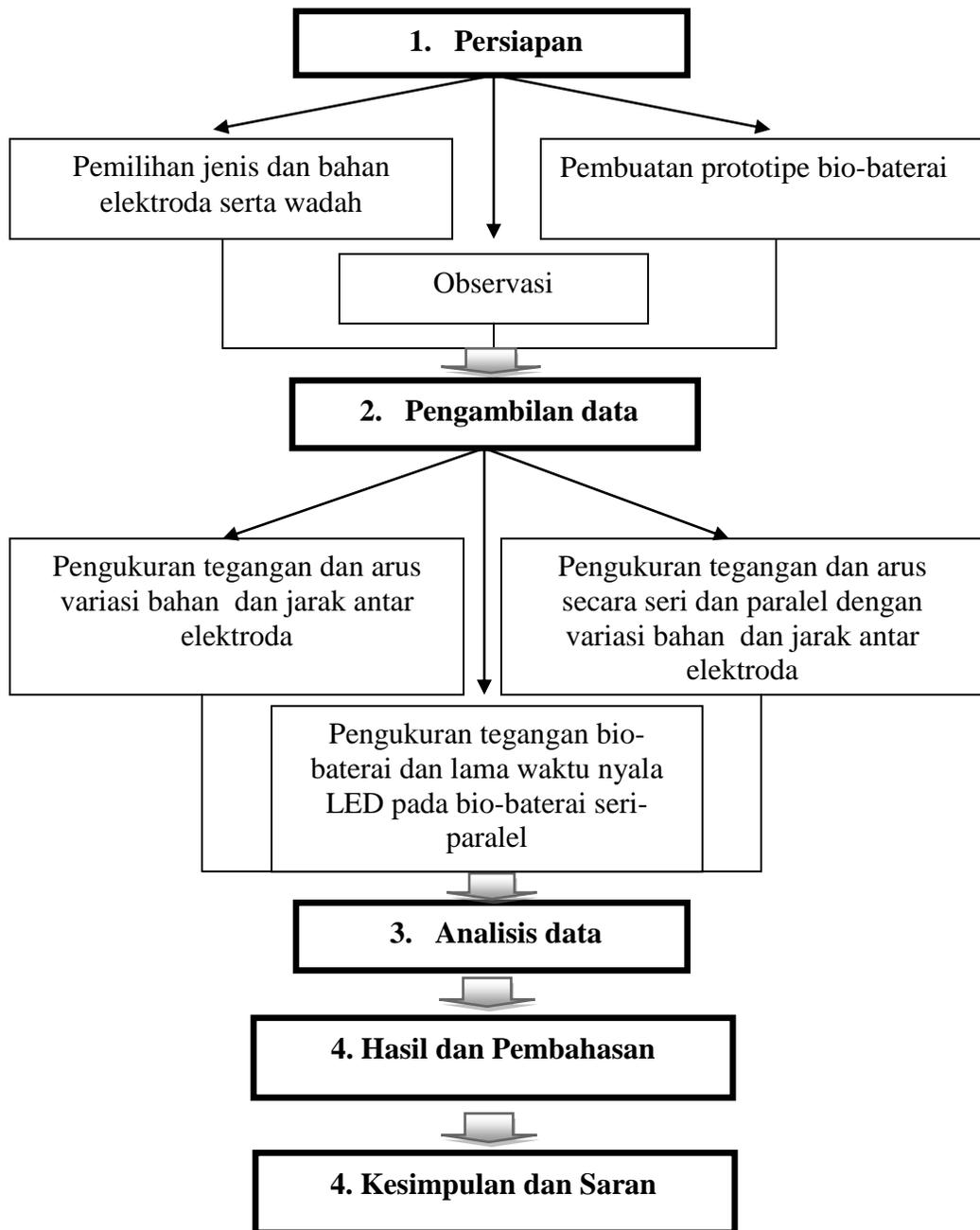
#### 3.3.1 Tahap Persiapan

##### 3.3.1.1 Pemilihan Jenis Elektroda

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 5 macam jenis bahan elektroda diantaranya Tembaga (Cu), Kuningan, Alumunium (Al), Besi (Fe), Timah (Pb). Elektroda – elektroda tersebut memiliki bentuk silinder dengan massa rata – rata 18,41 gram dan luas permukaan sebesar 11cm<sup>2</sup>.

##### 3.3.1.2 Pemilihan Wadah Bio-Baterai

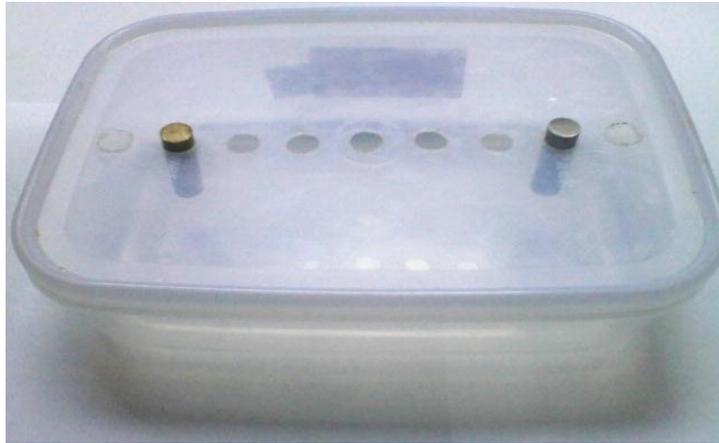
Wadah digunakan sebagai tempat elektrolit dari bio-baterai dimana dalam penelitian ini menggunakan 2 macam wadah plastik beserta dengan tutupnya dengan ukuran panjang 16cm, lebar 8cm dan volume yang dapat ditampung sebanyak 900ml larutan elektrolit dan wadah yang kedua dengan ukuran panjang 10cm, lebar 7cm dan volume yang ditampung sebanyak 250ml.



Gambar 3.1 Tahapan penelitian

### 3.3.1.3 Pembuatan Prototipe Bio-Baterai

Pertama wadah plastik yang akan digunakan sebagai wadah bio-baterai disiapkan, kemudian tutup di buat lubang dengan ukuran sesuai luas permukaan elektroda, kemudian elektroda yang telah disiapkan sebelumnya dimasukan ke dalam lubang tersebut. Selanjutnya wadah diisi dengan larutan elektrolit jeruk dengan volume yang ditentukan sebelumnya. Tutup wadah yang telah dipasang elektroda. Hasilnya diperlihatkan gambar berikut:



Gambar 3.2 Prototipe Bio-Baterai ukuran 16cm × 8cm



Gambar 3.3 Prototipe Bio-Baterai ukuran 10cm × 7cm

#### 3.3.1.4 Observasi

Pada tahap observasi ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu, pertama yaitu pengukuran kadar keasaman (pH) yang terdapat pada limbah jeruk yang telah diperas.

Tahap yang kedua dalam observasi tersebut yaitu mengukur suhu yang terdapat pada cairan jeruk yang digunakan sebagai elektrolit. Pada saat suhu 0°C nilai tegangan yang diperoleh berbeda dengan saat suhu 20°C dan 27°C. Dalam penelitian suhu cairan yang digunakan yaitu pada suhu 26°C.

Tahap observasi yang terakhir yaitu pengukuran tegangan dan arus dengan variasi bahan dan jarak antar elektroda, untuk menentukan variasi jarak yang digunakan dalam pengukuran.

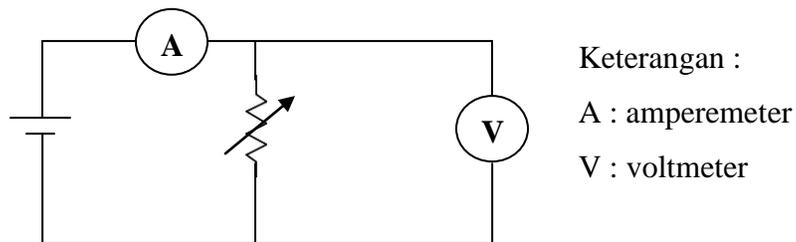
#### 3.3.2 Tahap Pengambilan Data

Jeruk yang digunakan merupakan tipe jeruk segar dengan tingkat kematangan yang sama. Jeruk yang dikumpulkan dan dibusukkan selama 1 minggu untuk mendapatkan tingkat kebusukan yang sesuai dengan keasaman yang diperlukan sebagai larutan elektrolit bio-baterai. Jeruk diambil di salah satu kebun jeruk yang berada di daerah Bangorejo Banyuwangi Jawa Timur.

##### 3.3.2.1 Pengukuran Tegangan dan Arus Pada Bio-baterai Tunggal dengan Variasi Bahan dan Jarak Elektroda

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kombinasi bahan dan jarak elektroda yang tepat sehingga menghasilkan tegangan bio-baterai yang optimal. Untuk membuat elektroda baterai, bahan-bahan seperti Cu, Fe, Pb, Al dan Kuningan dengan jarak yang bervariasi antar elektroda sebesar 2cm, 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm, 14cm, 16cm sebanyak masing-masing 900ml ke dalam larutan elektrolit buah jeruk tersebut.

Langkah selanjutnya bio-baterai disambungkan dengan voltmeter, amperemeter dan *variable resistor* dengan menggunakan kabel dan jepit buaya. Tegangan dan arus yang muncul pada multimeter dicatat setiap kenaikan besar resistornya. Selanjutnya pengukuran diulang dengan menggunakan kombinasi elektroda yang berbeda, yaitu: Cu-Fe, Al-Kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al (Kartawidjaja *et al.*, 2008).

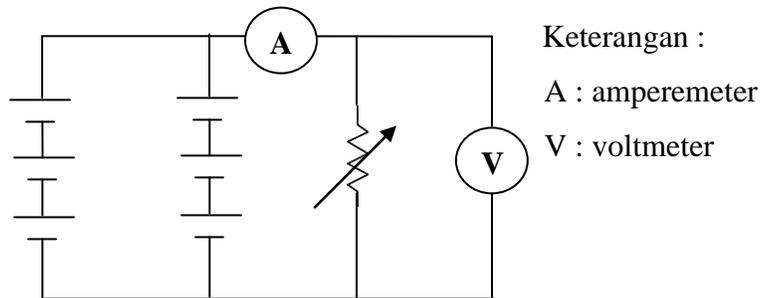


Gambar 3.4 Rangkaian Bio-baterai Tunggal

### 3.3.2.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Secara Seri dan Paralel Pada Bio-baterai

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui jenis bahan elektroda mana yang mempunyai nilai arus dan tegangan yang lebih besar, sehingga dapat membuat suatu bio-baterai dengan energi listrik yang optimal. Jarak yang digunakan dalam pengukuran ini yaitu 2cm dengan menggunakan 6 wadah yang berukuran sama yaitu  $10\text{cm} \times 7\text{cm}$  yang masing- masing memiliki volume sebesar 250 ml dan dihubungkan secara seri dan paralel dalam larutan.

Langkah selanjutnya bio-baterai disambungkan dengan voltmeter, amperemeter dan *variable resistor* dengan menggunakan kabel dan jepit buaya. Tegangan dan arus yang muncul pada multimeter dicatat setiap kenaikan besar resistornya. Selanjutnya pengukuran diulang dengan menggunakan kombinasi elektroda yang berbeda, yaitu: Cu-Fe, Al-Kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al.

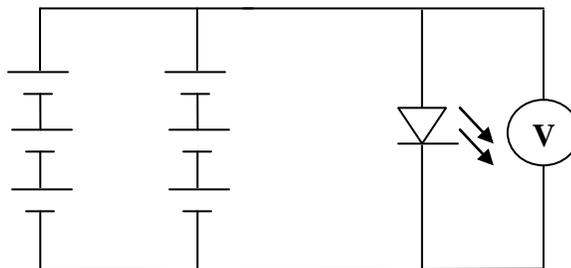


Gambar 3.5 Rangkaian Bio-baterai Secara Seri dan Paralel

### 3.3.2.3 Pengukuran Tegangan Bio-baterai dan Lama Waktu Nyala LED Pada Bio-baterai Seri-Paralel

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tegangan dan lama waktu yang dihasilkan dari variasi jenis bahan elektroda yang digunakan untuk menyalakan LED. Jarak yang digunakan dalam pengukuran ini yaitu 2cm dengan menggunakan 6 wadah yang berukuran sama yaitu  $10\text{cm} \times 7\text{cm}$  yang masing-masing memiliki volume sebesar 250ml dan dihubungkan secara seri dan paralel dalam larutan.

Langkah selanjutnya bio-baterai langsung disambungkan dengan voltmeter, amperemeter dan LED menggunakan kabel dan jepit buaya. Selanjutnya pengukuran diulang dengan menggunakan kombinasi elektroda yang berbeda, yaitu: Cu-Fe, Al-Kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al.



Gambar 3.6 Rangkaian Bio-baterai Hubungan Antara Tegangan dan Waktu

### 3.3.3 Analisa Data

Hasil yang diperoleh dari pengukuran tegangan dan arus bio-baterai ditabelkan dan dianalisa, kemudian dibuat grafik tegangan dan arus pada bio-baterai terhadap bahan elektroda dibuat dengan menggunakan Microsoft Excel 2007. Hasil pengolahan data lapangan kemudian dibandingkan dengan teori dan hasil- hasil penelitian lain.

## **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

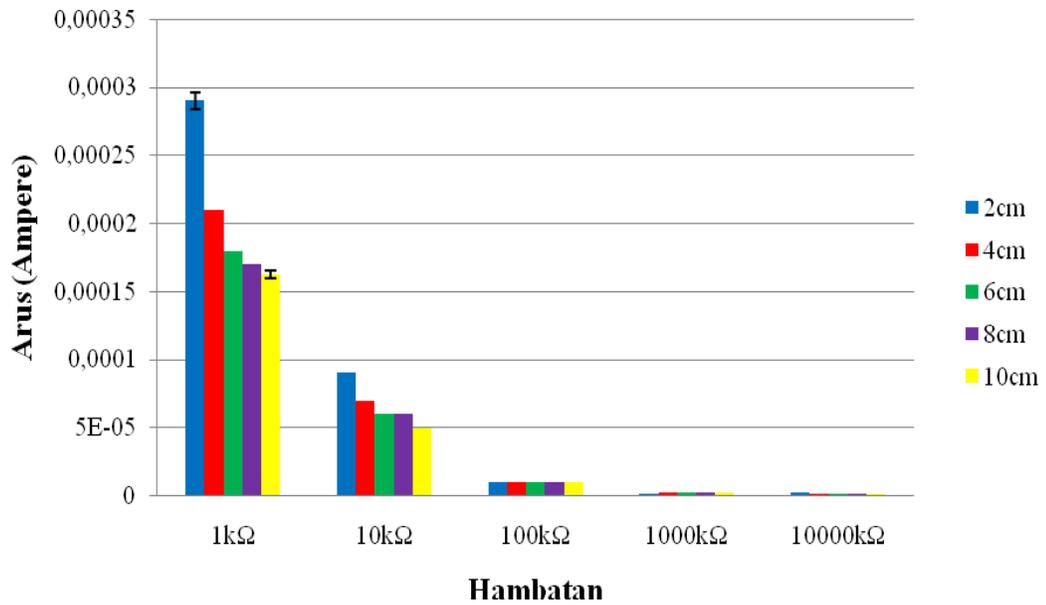
### **4.1 Hasil dan Analisis Data**

Seluruh data yang dihasilkan dari data pengukuran disajikan dalam lampiran data (Lampiran-B). Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan berbagai variasi yaitu bahan elektroda dan variasi jarak mulai dari 2cm, 4cm, 6cm, 8cm dan 10cm serta variasi hambatan mulai dari 1k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  sampai 10M $\Omega$  kemudian pengukuran tersebut diulang dalam 4 kali pengulangan pengukuran. Nilai pH dan suhu dalam penelitian ini tidak diteliti akan tetapi pengukuran pH digunakan sebagai informasi tingkat keasaman cairan elektrolit pada saat pengukuran. pH yang diperoleh sebesar  $4 \pm 0,03$ . Begitu juga dengan nilai suhu tidak mempengaruhi terhadap hasil penelitian karena suhu cairan elektrolit yang digunakan dalam penelitian sama yaitu 26°C.

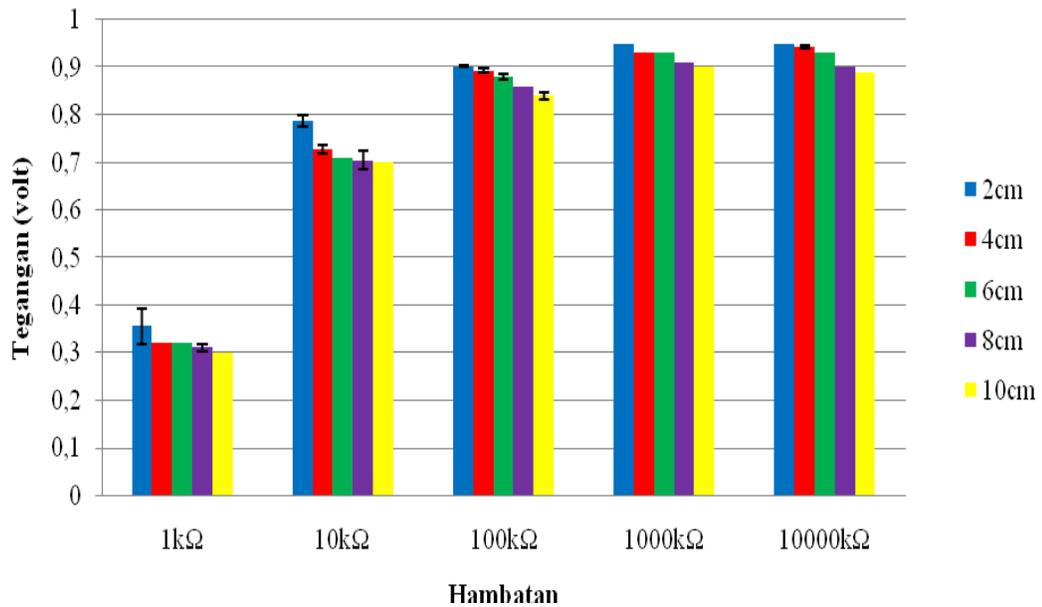
#### **4.1.1 Hasil Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pada Bio-baterai Tunggal dengan Variasi Bahan dan Jarak Elektroda**

##### **a. Elektroda Tembaga-Besi (Cu-Fe)**

Nilai rata-rata hasil pengukuran arus dan tegangan pada bio-baterai tunggal dengan variasi jarak dengan pasangan elektroda tembaga – besi (Cu-Fe) dapat dilihat pada grafik gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini. Dari hasil grafik 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa nilai jarak mempengaruhi besar arus dan tegangan yang dihasilkan. Dimana pada hambatan 1k $\Omega$  diperoleh semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan semakin kecil. Pada jarak 2cm nilai arus sebesar 0,29mA 4cm sebesar 0,21mA, 6cm sebesar 0,18mA, 8cm sebesar 0,17mA dan jarak 10cm sebesar 0,16mA.



Gambar 4.1 Grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Fe

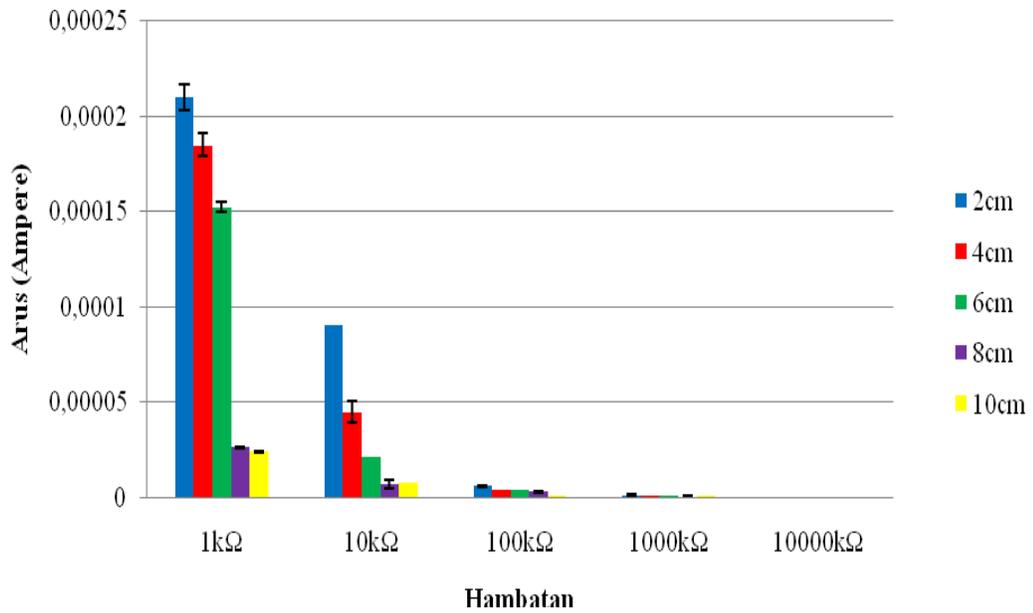


Gambar 4.2 Grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Fe.

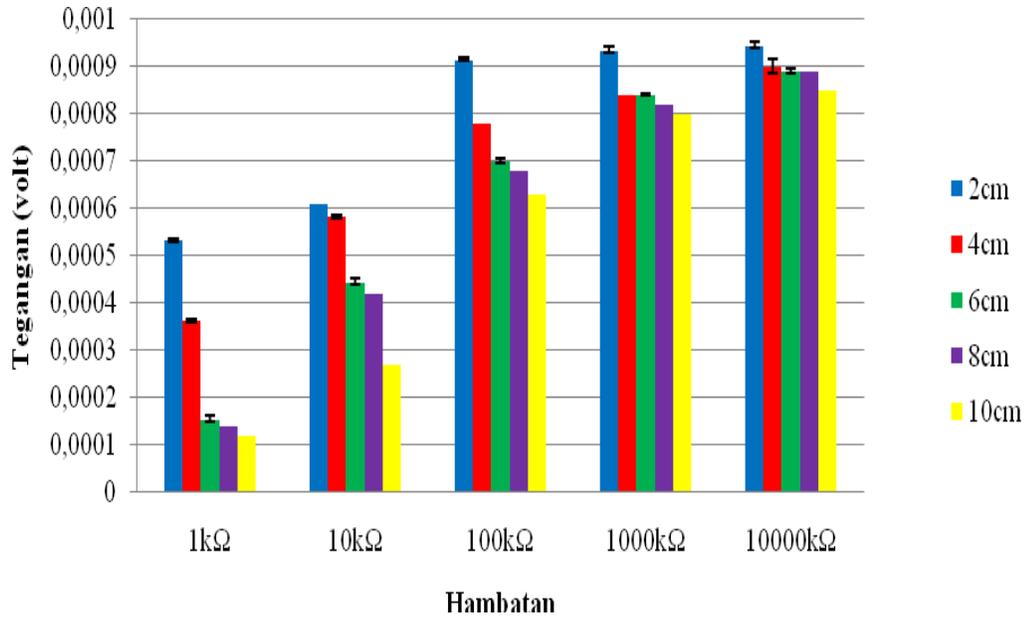
Begitu juga dengan nilai tegangan pada jarak 2cm sebesar 0,35 volt sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,32 volt, jarak 6cm sebesar 0,32volt, jarak 8cm sebesar 0,31volt dan jarak 10cm sebesar 0,3volt

b. Elektroda Alumunium - Kuningan (Al-kuningan)

Nilai rata-rata hasil pengukuran tegangan dan arus pada bio-baterai tunggal dengan variasi jarak dengan pasangan elektroda alumunium - kuningan dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda alumunium -kuningan

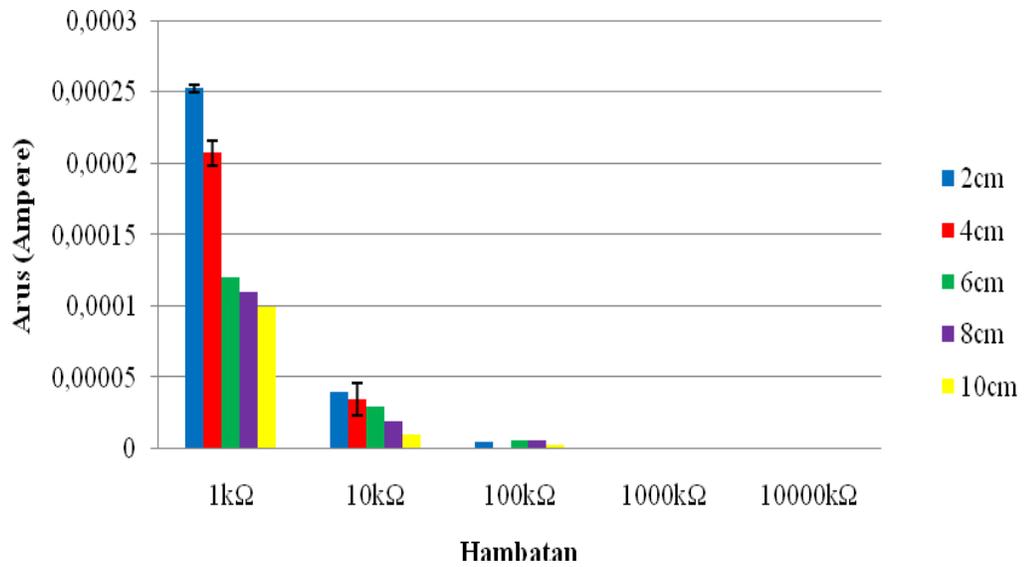


Gambar 4.4 Grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda alumunium -kuningan

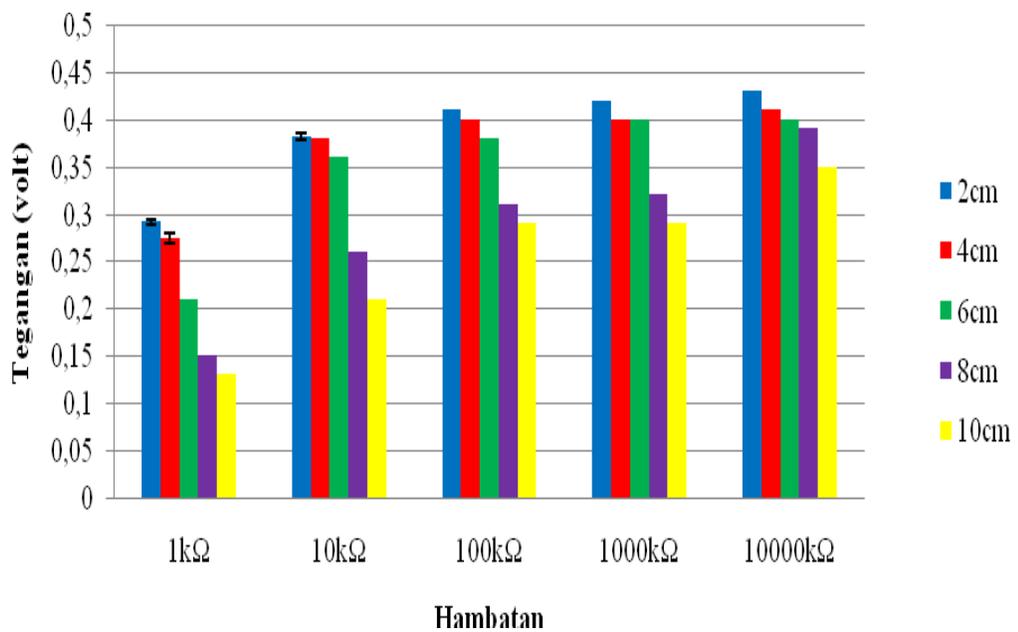
Dari hasil grafik gambar 4.3 dan 4.4 di atas dapat dilihat bahwa nilai jarak mempengaruhi besar arus dan tegangan yang dihasilkan. Dimana pada hambatan 1kΩ diperoleh semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan semakin kecil. Pada jarak 2cm nilai arus sebesar 0,21mA sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,18mA, jarak 6cm sebesar 0,15mA, 8cm sebesar 0,026mA dan 10cm sebesar 0,024mA. Begitu juga dengan nilai tegangan pada jarak 2cm sebesar 0,05volt sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,036 volt, jarak 6cm sebesar 0,015volt ,8cm sebesar 0,014volt , dan 10cm sebesar 0,012volt.

#### c. Elektroda Tembaga- Timah (Cu-Pb)

Nilai rata-rata hasil pengukuran tegangan dan arus pada bio-baterai tunggal dengan variasi jarak dengan pasangan elektroda tembaga- timah dapat dilihat pada grafik (4.5 dan 4.6) di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Pb

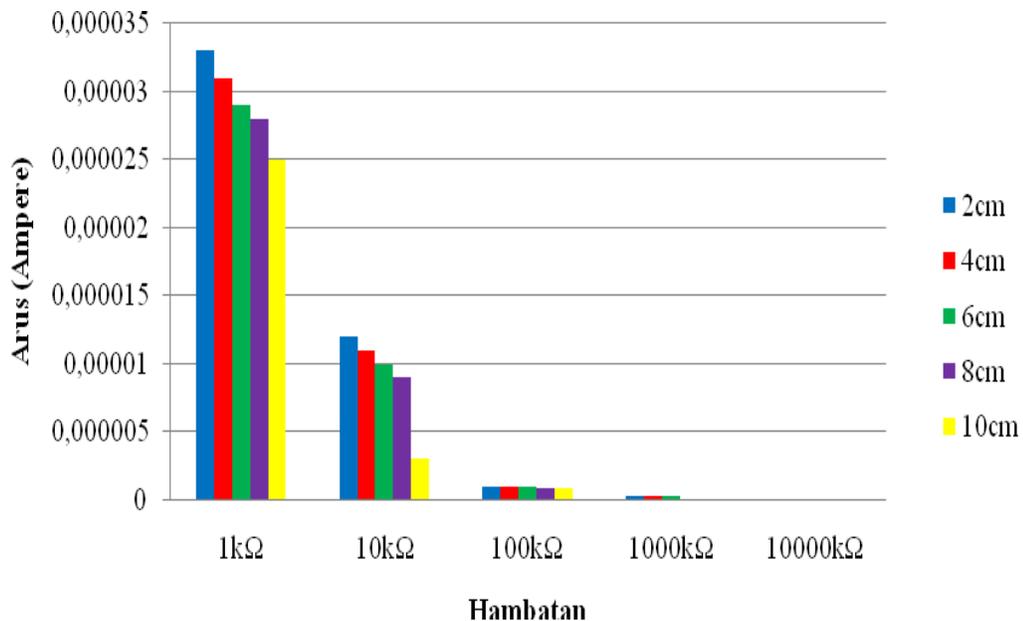


Gambar 4.6 Grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda Cu-Pb

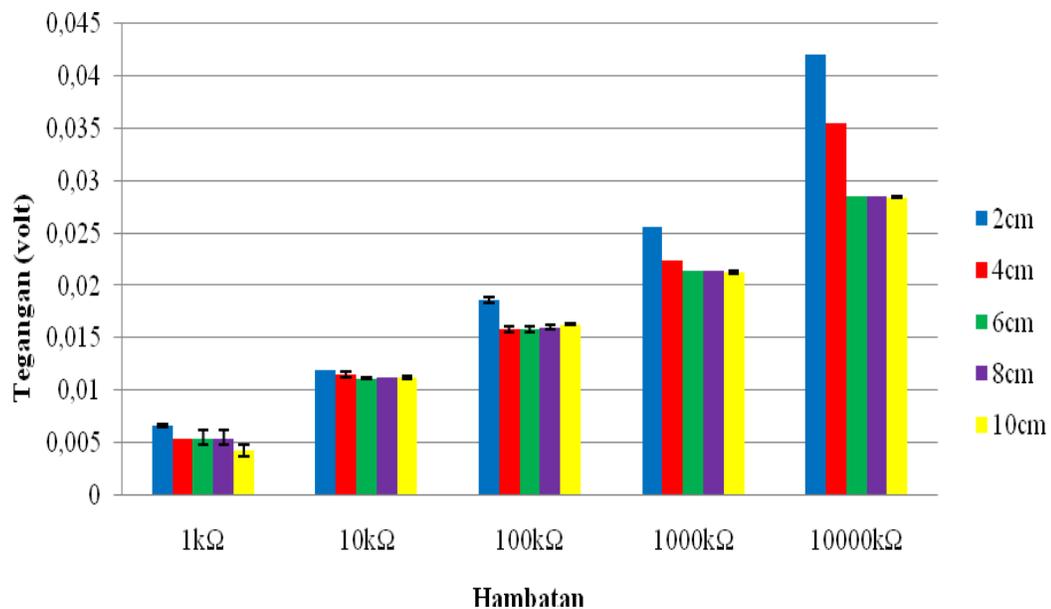
Dari hasil grafik 4.5 dan 4.6 di atas dapat dilihat bahwa nilai jarak mempengaruhi besar arus dan tegangan yang dihasilkan. Dimana pada hambatan  $1k\Omega$  diperoleh semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan semakin kecil. Pada jarak 2cm nilai arus sebesar 0,25mA sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,21mA, jarak 6cm sebesar 0,12mA, 8cm sebesar 0,11mA dan 10cm sebesar 0,10mA. Begitu juga dengan nilai tegangan pada jarak 2cm sebesar 0,29 volt sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,27 volt, jarak 6cm sebesar 0,21volt, 8cm sebesar 0,15volt, dan 10cm sebesar 0,13volt.

d. Elektroda Kuningan-Tembaga (Kuningan- Cu)

Nilai rata-rata hasil pengukuran tegangan dan arus pada bio-baterai tunggal dengan variasi jarak dengan pasangan elektroda kuningan-tembaga dapat dilihat pada grafik (4.7 dan 4.8) di bawah ini.



Gambar 4.7 Grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda kuningan- tembaga

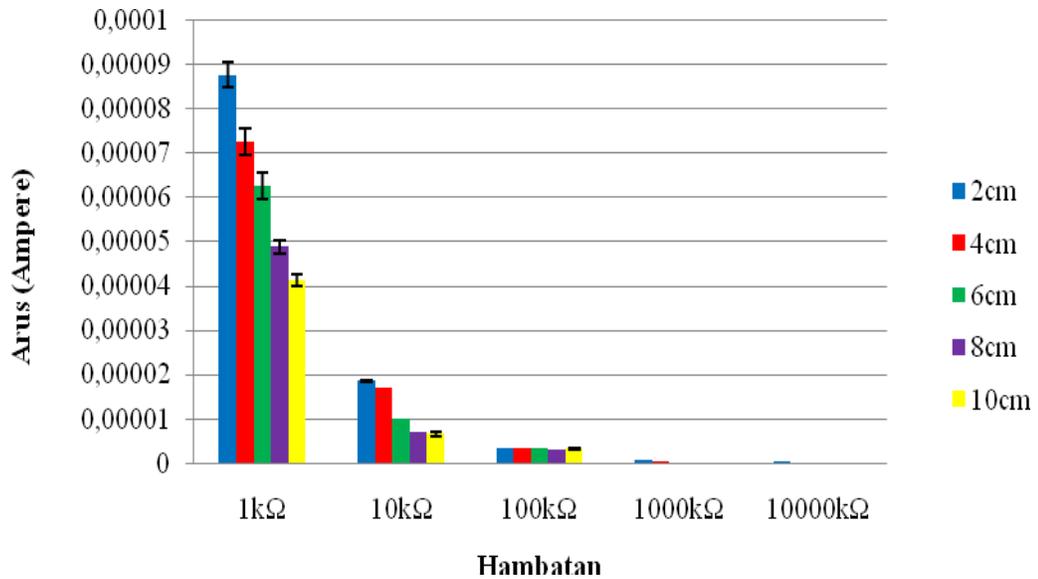


Gambar 4.8 Grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda kuningan- tembaga

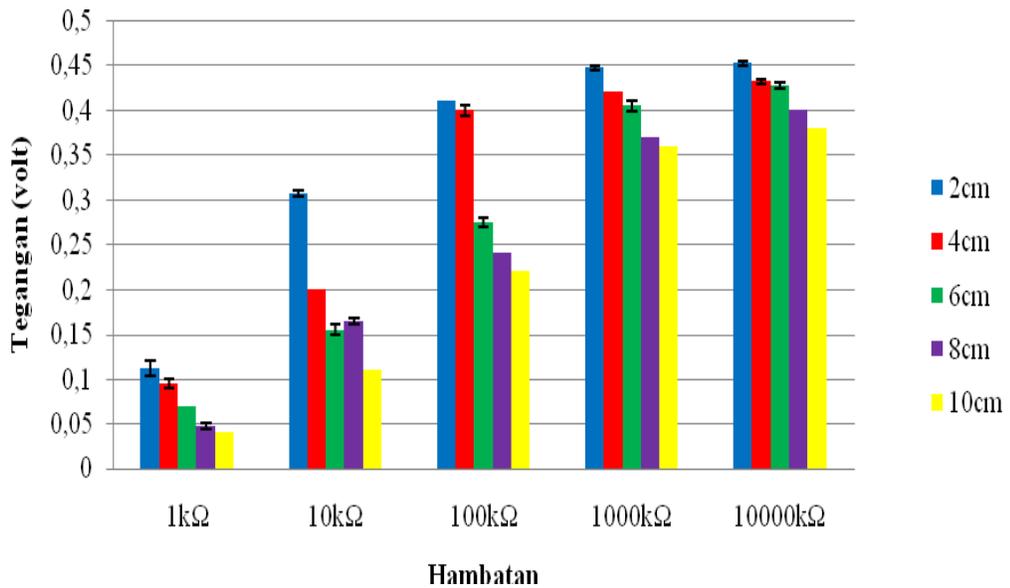
Dari hasil grafik 4.7 dan 4.8 di atas dapat dilihat bahwa nilai jarak mempengaruhi besar arus dan tegangan yang dihasilkan. Dimana pada hambatan 1kΩ diperoleh semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan semakin kecil. Pada jarak 2cm nilai arus sebesar 0,033mA sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,031mA, jarak 6cm sebesar 0,029mA, 8cm sebesar 0,028mA dan 10cm sebesar 0,025mA. Begitu juga dengan nilai tegangan pada jarak 2cm sebesar 0,066 volt sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,055 volt, jarak 6cm sebesar 0,055volt ,8cm sebesar 0,055volt , dan 10cm sebesar 0,042volt.

#### e. Elektroda Tembaga- Alumunium (Cu-Al)

Nilai rata-rata hasil pengukuran tegangan dan arus pada bio-baterai tunggal dengan variasi jarak dengan pasangan elektroda tembaga- alumunium dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10 di bawah ini.



Gambar 4.9 Grafik nilai arus dengan variasi jarak pada pasangan elektroda tembaga-aluminium



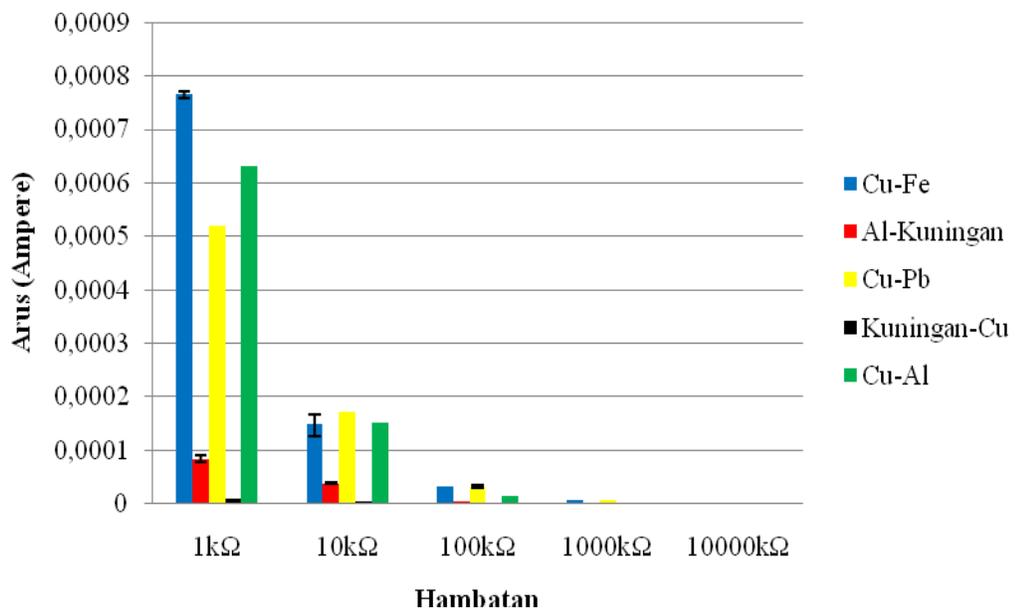
Gambar 4.10 Hasil grafik nilai tegangan dengan variasi jarak pada pasangan elektroda

tembaga- alumunium

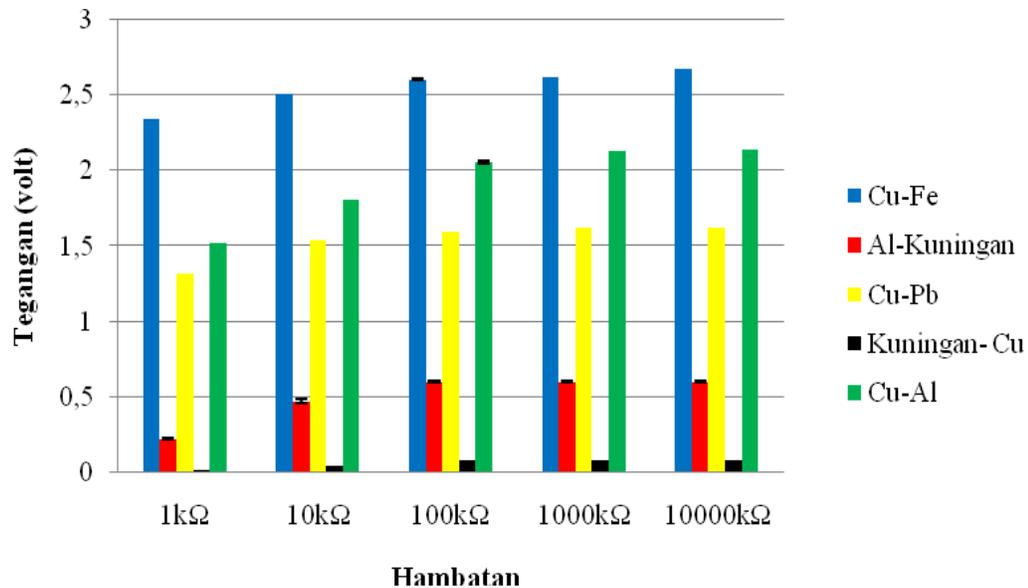
Dari hasil grafik 4.9 dan 4.10 di atas dapat dilihat bahwa nilai jarak mempengaruhi besar arus dan tegangan yang dihasilkan. Dimana pada hambatan  $1k\Omega$  diperoleh semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan semakin kecil. Pada jarak 2cm nilai arus sebesar 0,09mA sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,07mA, 6cm sebesar 0,06mA, 8cm sebesar 0,05mA dan jarak 10cm sebesar 0,04mA. Begitu juga dengan nilai tegangan pada jarak 2cm sebesar 0,11volt sedangkan pada jarak 4cm sebesar 0,09 volt, 6cm sebesar 0,07volt, 8cm sebesar 0,05volt dan jarak 10cm sebesar 0,04volt.

#### 4.1.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Secara Seri dan Paralel Pada Bio-baterai

Nilai rata- rata hasil pengukuran arus dan tegangan secara seri dan paralel pada bio-baterai dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.11 Grafik nilai arus pada pengukuran bio-baterai secara seri dan paralel



Gambar 4.12 Grafik nilai tegangan pada pengukuran secara seri dan paralel

Pada grafik 4.11 di atas dapat dilihat bahwa pada pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan nilai arus yang paling besar yaitu 1,12mA selanjutnya pasangan elektroda Cu-Al sebesar 0,63mA, Cu-Pb sebesar 0,52mA, Al-kuningan sebesar 0,24mA dan Kuningan- Cu sebesar 0,13mA. Hambatan (R) juga mempengaruhi besar arus yang dihasilkan. Dimana semakin besar hambatan maka nilai arus semakin kecil sedangkan nilai tegangan semakin besar. Pasangan elektroda Cu-Fe pada hambatan 1kΩ nilai arus sebesar 1,12mA sedangkan pada hambatan 10kΩ sebesar 0,14mA begitu juga dengan pasangan elektroda lainnya seperti Cu-Al, Cu-Pb, Al-kuningan dan Kuningan- Cu.

Pada grafik 4.12 di atas dapat dilihat pula bahwa pada pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan nilai tegangan yang paling besar yaitu 2,32volt, Cu-Al sebesar 1,52volt, Cu-Pb sebesar 1,32volt, Al-kuningan sebesar 0,22volt dan Kuningan- Cu sebesar 0,13volt. Hambatan (R) juga mempengaruhi besar tegangan yang dihasilkan. Dimana semakin besar hambatan maka nilai tegangan semakin besar. Pasangan

elektroda Cu-Fe pada hambatan  $1k\Omega$  nilai arus sebesar 2,32volt sedangkan pada hambatan  $10k\Omega$  sebesar 2,51volt begitu juga dengan pasangan elektroda lainnya seperti Cu-Al, Cu-Pb, Al-kuningan dan kuningan- Cu.

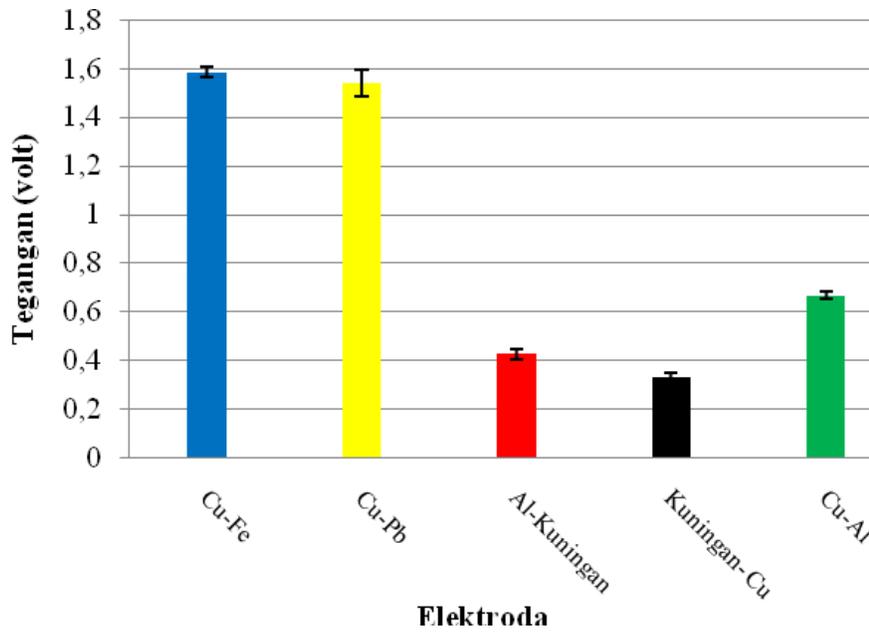
#### 4.1.3 Pengukuran Tegangan Bio-baterai dan Lama Waktu Nyala LED Pada Bio-baterai Seri-Paralel

Nilai rata-rata dan *standart error (s.e.)* hasil pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai seri-paralel dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.13 dan 4.14 berikut.

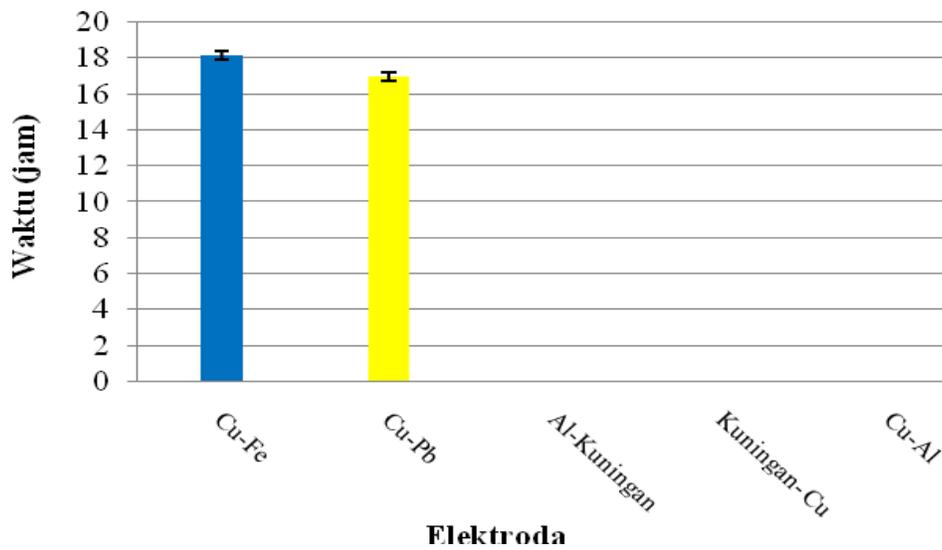
Tabel 4.1 Nilai rata-rata dan *standart error (s.e.)* hasil pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai seri-paralel

<b>Elektroda</b>	<b>Tegangan <math>\pm</math> s.e (volt)</b>	<b>Waktu <math>\pm</math> s.e (jam)</b>
Cu-Fe	$1,58 \pm 0,01$	$18,14 \pm 0,25$
Al-kuningan	$0,43 \pm 0,02$	0
Cu-Pb	$1,54 \pm 0,005$	$16,97 \pm 0,25$
Kuningan-Cu	$0,33 \pm 0,01$	0
Cu-Al	$0,67 \pm 0,01$	0

Pada tabel 4.1 dan gambar 4.13 dan 14 terlihat bahwa pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan tegangan paling tinggi sebesar 1,58volt sehingga dapat menyalakan LED merah selama 18,14 jam. Pasangan elektroda yang juga dapat menyalakan LED yaitu pasangan elektroda Cu-Pb yang menghasilkan tegangan sebesar 1,54volt dan dapat menyalakna LED selama 16, 97 jam.



Gambar 4.13 Grafik hasil pengukuran tegangan terhadap nyala LED pada bio-baterai seri dan paralel



Gambar 4.14 Grafik hasil pengukuran lama nyala LED pada bio-baterai seri dan paralel

Sedangkan untuk pasangan elektroda lainnya seperti Al-kuningan, Kuningan Cu dan Cu-Al tidak dapat menyalakan LED. Hal tersebut dikarenakan tegangan yang dihasilkan masing- masing sebesar 0,43volt, 0,33volt dan 0,67 volt. Akan tetapi tegangan yang dihasilkan dapat bertahan selama masing- masing 11,05 jam, 10,34jam dan 13,41 jam sampai nilai tegangan tersebut nol.

#### **4.2 Pembahasan**

Mengacu pada hasil dan analisis data didapatkan bahwa pengukuran dengan menggunakan air limbah jeruk sebagai elektrolit dengan kadar keasaman (pH) sebesar  $4 \pm 0,03$  dan suhu sebesar  $26^{\circ}\text{C}$  dengan variasi bahan elektroda yaitu tembaga (Cu), timah (Pb), kuningan, besi (Fe) dan alumunium (Al). Penelitian ini telah dilakukan dengan menggunakan 3 parameter pengukuran yaitu pengukuran tegangan dan arus pada bio-baterai tunggal dengan variasi bahan dan jarak elektroda, pengukuran tegangan dan arus secara seri dan paralel pada bio-baterai serta pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai seri dan paralel dengan pasangan elektroda yang ditentukan yaitu Cu-Fe, Al-kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al (Kartawidjaja *et al.*, 2008).

Jeruk digunakan sebagai elektrolit dalam penelitian ini, hal ini disebabkan air jeruk banyak terkandung asam sitrat di dalamnya (Riyanto, 2011). Dalam penelitian ini menggunakan jeruk segar dengan tingkat kematangan yang sama. Jeruk yang dikumpulkan dan dibusukkan secara bersamaan sehingga tingkat kebusukannya sesuai dengan keasaman yang diperlukan sebagai larutan elektrolit bio-baterai, dimana setiap 4-5 buah jeruk dapat diperoleh 250ml air jeruk, sehingga dalam penelitian ini diperlukan  $\pm 50\text{kg}$  jeruk segar. Hal ini disebabkan pada saat setiap pengukuran mempergunakan elektrolit yang baru sehingga diperlukan cairan elektrolit yang tidak sedikit.

Berdasarkan hasil dan analisis data didapat bahwa bahan dan jarak elektroda mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan (gambar 4.1 – 4.14) dimana menggunakan 5 macam pasang elektroda dengan jarak yang berbeda mulai 2cm, 4cm, 6cm, 8cm dan 10cm pada 4 kali pengulangan dengan 40 hambatan mulai dari 1k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 10M $\Omega$  terlihat bahwa mempengaruhi nilai arus serta tegangan yang dihasilkan. Pada pengukuran bio-baterai tunggal dengan variasi bahan dan jarak elektroda menggunakan elektrolit sebanyak 900ml dengan jarak yang bervariasi yaitu 2cm, 4cm, 6cm, 8cm dan 10 cm. Sedangkan pada pengukuran tegangan dan arus secara seri dan paralel pada bio-baterai serta pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai seri dan paralel menggunakan 6 bio-baterai dengan volume masing-masing 250ml dengan jarak yang sama yaitu 2cm yang disusun secara seri dan paralel.

Pengukuran dengan menggunakan variasi bahan elektroda menghasilkan nilai tegangan dan arus yang berbeda. Pada penelitian yang terdahulu yang dilakukan oleh Kartawidjaja *et al* (2008) pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan tegangan sebesar 0,962volt sedangkan pada penelitian ini untuk pasangan elektroda Cu-Fe dengan jarak antar elektroda 2cm serta hambatan yang sama 1k $\Omega$  menghasilkan nilai tegangan dan arus yang lebih kecil sebesar 0,35volt dan 0,29mA. Hal tersebut dikarenakan perbedaan luas permukaan elektroda yang digunakan. Pada penelitian Kartawidjaja *et al* (2008) menggunakan elektroda berbentuk lempengan sedangkan pada penelitian ini menggunakan elektroda berbentuk silinder dimana luas permukaannya lebih kecil dibandingkan dengan elektroda yang berbentuk lempengan. Akan tetapi pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan tegangan dan arus yang paling besar dibandingkan dengan pasangan elektroda lainnya, sedangkan untuk pasangan elektroda lainnya yaitu Cu- Pb sebesar 0,29 volt dan 0,25mA , Al- Kuningan sebesar 0,53mvolt dan 0,21mA, Cu- Al sebesar 0,11volt dan 0,09mA sedangkan untuk pasangan elektroda Cu- Kuningan sebesar 0,006volt dan 0,03mA. Hal tersebut dikarenakan berdasarkan pada urutan deret volta yaitu: Zn, Ni, Sn, Ca, Li, Ba, Na, K, Mg, Fe, Mn, Pb, Al (**H**), Hg, Au, Cu, Ag, Pt. Daretan logam – logam tersebut

dimana 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) (Dogra,1990).

Pada pengukuran dengan menggunakan variasi jarak diperoleh nilai arus dan tegangan pada hambatan yang sama  $1k\Omega$  dan jarak 2cm menghasilkan nilai arus dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan pada jarak 4cm, 6cm, 8cm dan 10cm. Begitu juga dengan pasangan elektroda lainnya seperti A-Kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al, dimana semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangan akan semakin kecil. Hal tersebut sesuai dengan teori yang ada bahwa jarak dianalogikan sebagai hambatan dimana semakin jauh jarak antar elektron maka besar hambatan pergerakan elektron akan besar sehingga arus bernilai kecil. Semakin dekat jarak antar elektroda maka hambatan bernilai kecil sehingga arus bernilai kecil sehingga nilai kuat arus menjadi besar dan mempengaruhi laju reaksi (Suyuty, tanpa tahun)

Selain variasi bahan elektroda dan variasi jarak antar elektroda dalam penelitian ini menggunakan variasi hambatan atau beban dimana hambatan yang digunakan yaitu  $1k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $100k\Omega$  dan  $1M\Omega$ . Semakin besar nilai hambatan maka nilai tegangan akan semakin besar pula akan tetapi nilai arus akan semakin kecil. Pada saat hambatan  $1k\Omega$  pada jarak yang sama 2cm tegangan dan arus yang dihasilkan pada pasangan elektroda Cu- Fe yaitu sebesar 0,35 volt dan 0,29mA sedangkan pada hambatan  $10k\Omega$  sebesar 0,79volt dan 0,09mA begitu juga pada hambatan  $100k\Omega$  dan  $1M\Omega$  maka nilai tegangan semakin besar dan arus akan semakin kecil .

Nilai tersebut tidak hanya berlaku untuk pasangan elektroda Cu-Fe saja, akan tetapi untuk pasangan elektroda lainnya seperti Al-kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al. Dimana hal tersebut sesuai dengan hukum ohm yang berlaku jika nilai

hambatan semakin besar maka nilai tegangan juga semakin besar pula, akan tetapi nilai arus akan semakin kecil.

Pengukuran kelistrikan yang kedua yaitu dengan menghubungkan rangkaian bio-baterai secara seri dan paralel dengan jarak antar elektroda 2cm dengan menggunakan 6 buah bio-baterai dengan volume elektrolit masing-masing 250ml. Digunakan rangkaian seri dan paralel yaitu bertujuan agar nilai arus dan tegangan yang seimbang sehingga dari perolehan arus dan tegangan dapat menyalakan LED, karena pada saat pengukuran yang pertama pada bio-baterai tunggal diperoleh arus dan tegangan yang kecil sehingga tidak bisa menyalakan LED, dimana dalam pengukuran diperoleh nilai arus dan tegangan yang semakin besar dibandingkan dengan nilai tegangan dan arus pada saat pengukuran bio-baterai tunggal. Hal tersebut dikarenakan saat pengukuran menggunakan enam buah bio-baterai yang dirangkai secara seri dan dihubungkan secara paralel sehingga nilai tegangan dan arus yang diperoleh semakin besar atau semakin kuat. Pengukuran yang kedua ini juga mempergunakan variasi bahan elektroda serta variasi hambatan, dimana pada saat beban dan jarak yang sama pasangan elektroda Cu-Fe mempunyai nilai tegangan tertinggi diikuti Cu-Pb, Cu-Al, Al- Kuningan dan Kuningan- Cu. Hal tersebut dikarenakan berdasarkan pada urutan deret volta seperti yang disebutkan di atas.

Pengukuran yang ketiga yaitu pengukuran tegangan bio-baterai dan lama waktu nyala LED pada bio-baterai yang dirangkai secara seri dan paralel. Pada pengukuran ini digunakan untuk mengetahui lama waktu nyala LED dari berbagai jenis pasangan bahan elektroda. Hasil yang didapat untuk pasangan elektroda Cu- Fe menghasilkan tegangan yang paling tinggi yaitu sebesar 1,58volt sehingga dapat menyalakan LED merah selama 18,14 jam. Pasangan elektroda yang juga dapat menyalakan LED yaitu pasangan elektroda Cu-Pb yang menghasilkan tegangan sebesar 1,54volt dan dapat menyalakna LED selama 16, 97 jam. Sedangkan untuk pasangan elektroda lainnya seperti Al-kuningan, Kuningan Cu dan Cu-Al tidak dapat menyalakan LED. Hal tersebut dikarenakan tegangan yang dihasilkan masing-masing sebesar 0,43volt, 0,33volt dan 0,67 volt. Akan tetapi tegangan yang

dihasilkan dapat bertahan selama masing- masing 11,05 jam, 10,34jam dan 13,41 jam sampai nilai tegangan tersebut nol. Hal tersebut dikarenakan bahan dari pasangan elektroda berdasarkan deret volta dimana 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) (Dogra,1990).

Secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa pada penelitian efek variasi bahan elektroda terhadap kelistrikan yang dihasilkan oleh buah jeruk ini dengan menggunakan variasi jarak, bahan elektroda serta variasi hambatan mempengaruhi besar arus dan tegangan yang diperoleh dimana semakin besar jarak antar elektroda maka nilai arus dan tegangan semakin kecil. Berbeda dengan variasi hambatan dimana semakin besar nilai hambatan maka nilai tegangan akan semakin besar pula akan tetapi nilai arus akan semakin kecil. Sedangkan variasi bahan elektroda menghasilkan nilai tegangan dan arus yang berbeda yaitu untuk pasangan elektroda Cu-Fe menghasilkan nilai arus dan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan pasangan elektroda lainnya yaitu Al-kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al, dimana hal tersebut dikarenakan bahan dari pasangan elektroda berdasarkan deret volta.

## **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Hasil dan analisis didapatkan kesimpulan secara umum bahwa variasi jarak, dan pasangan elektroda mempengaruhi nilai tegangan dan arus biobaterai yang dihasilkan pada pembebanan yang sama maupun yang berbeda. Pada biobaterai tunggal semakin kecil jarak elektroda, semakin besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan pada setiap pasangan elektroda yang digunakan. Hasil serupa juga didapatkan pada biobaterai yang dipasang seri paralel, dengan nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan biobaterai tunggal pada pasangan elektroda yang sama. Pada kedua jenis biobaterai pasangan elektroda Cu-Fe mempunyai nilai arus dan tegangan yang terbesar dibandingkan dengan pasangan elektroda lainnya ( Cu-Al, Cu-Pb, Al-kuningan, dan kuningan-Cu) beban dan jarak elektroda yang sama. Biobaterai pasangan elektroda Cu-Fe yang disusun seri paralel menghasilkan tegangan yang paling tinggi dan nyala LED paling lama yaitu sebesar 1,58volt dan menyala selama 18,14 jam.

### **5.2 Saran**

Diharapkan pada penelitian selanjutnya digunakan jarak elektroda yang lebih kecil untuk memberikan nilai arus tegangan yang maksimal, serta menggunakan elektroda berbentuk lempeng.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad. H. , 1982, *Penuntun Belajar Kimia TPB II; Elektro Kimia*, Departemen Kimia FMIPA – ITB, Bandung.
- Abdalla. A. S. Al-Ghamdi and F. Al-Marzouki (tanpa tahun). *Green Energy: Electric Batteries from Food* , Saudi Arabia, Physics Department, Faculty of Science.
- Alaudina. H. N. (tanpa tahun) Let's Fly Around The World With King Fruit, *APEC Youth Scientist Journal* **3**: 34-47
- Anonim. 2011. *Pemanfaatan Kulit Pisang sebagai Bahan Baku Baterei Kering*. Diakses melalui [http://onlinebuku.com/2011/12/10/pemanfaatan kulit-pisang-sebagai-bahan-baku-beterai-kering/#more-2807](http://onlinebuku.com/2011/12/10/pemanfaatan-kulit-pisang-sebagai-bahan-baku-beterai-kering/#more-2807) [25 Februari 2012].
- Bird. T. 1993. *Kimia fisik untuk Universitas*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Bosch. R.W, Feron, D, dan Celis J.P. 2007, *Electrochemistry in Light Water Reactors*. CRC Press.
- Brady. J.E., *General Chemistry : Principles and Structure*, 5<sup>th</sup> edition, John Wiley and Sons, New York, 1990.
- Bullen. R.A, Arnot .T.C, Lakeman J.B, dan Walsh F.C. 2006. Biofuel cell and their development. *J. Biosensors and Bioelectronics* **21**: 2015-2045.
- Briggs. J. 2000. *Chemistry for "0" Level*, 2<sup>nd</sup> edition, Longman, Singapore.
- Clarke. (tanpa tahun) . *Pembangkit Listrik Tenaga Pisang*. Jakarta
- Daniel. J. S and Charlotte. M. . *Lemon Cells Revisited – The Lemon-Powered Calculator*, Department of Chemistry, Tennessee Technological University, *Journal of Chemical Education* **75** : 181-184.

- David. L, Reddy, T.B. 2002. *Handbook Of Battery 3<sup>rd</sup> Edition*. McGraw-Hill: New York
- Dogra. S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal – Soal*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Gaman, PM, Sherrington, KB. 1992. *Ilmu Pangan, Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi Edisi ke-2*. Murdijati Gardjito, Sri Naruki, Agnes Murdiati, Sardjono, penerjemah. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Garrels. R.M, Christ, C.L. 1990. *Minerals, Solutions, and Equilibria. Jones and Bartlett*: London.
- Hiskia. A.1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. PT Citra Aditya Bakti, Bandung.
- Jamal . N.A. 2008. Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit Modul Kimia Kelas X (Sepuluh) <http://www.dikmenum.co.id>
- Holly. 2007. *Bio-baterai Sederhana*. [http://chemistry for peace not for war / index.html](http://chemistryforpeace.org/peace/peace/peace/peace/index.html). [24 Agustus 2011].
- Kartawidjaja. M, Abdurrochman. A, Rumeksa. E. 2008. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*.Lampung: Universitas Lampung : 105-115
- Larminie .J, Dicks. A. 2000. *Fuel Cell System Explained*, 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Media Indonesia, 2006, *Manfaat Buah Jeruk* [online] <http://www.mediaindo.co.id> [20 Mei 2012].
- Mench. M.W. 2008. *Fuel Cell Engines*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc
- Penniston. K.L, Nakada. S.Y, Holmes R.P, Assimios DG 2008. *Quantitative Assessment of Citric Acid in Lemon Juice, Lime Juice, and Commercially-Available Fruit Juice Products*.
- Pratama. 2007. *Pemanfaatan Limbah Organik*. <http://pratama.ac.id/category/aplikasi-modern-chitosan/> pada tanggal 21 April 2012 pukul 09.02.

- Rahardi, Yovita H. Indriani & Haryono. 1999. *Agribisnis Tanaman Buah*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Riyanto, Bambang. 2011. *Elektrolit Baterai dari Polimer Chitosan*. Diakses melalui <http://bambangriyanto.staff.ipb.ac.id/category/aplikasi-modern-chitosan/> pada tanggal 28 Februari 2012.
- Rumeksa. E. 2008. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. Lampung: Universitas Lampung : 105-115
- Seran. E. 2011 *Larutan elektrolit dan non elektrolit*. [http://chemistry for peace not for war / index.html](http://chemistryforpeace.com/notforwar/index.html). [18 Juni 2011].
- Shukla. A.K, Suresh P, Berchmans S, dan Rajendran A. 2004. Biological fuel cells and their applications. *J. Current Science* **87**: 455-468.
- Soelarso. R.B .1996. *Budidaya Jeruk Bebas Penyakit*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Sucipto. 2007. *Energi Listrik Kulit Pisang*. Diakses melalui <http://Sucipto.ac.id/energilistriktenagapisang/> [14 Maret 2011].
- Sunanto. *Cara Mudah Menghasilkan Listrik dari Buah Blimbing*. <http://radensomad.com/cara-mudah-menghasilkan-listrik-dari-buah-belimbing.html>. [14 Mei 2012 pukul 08.06].
- Suyuty. A. (tanpa tahun). *Studi Eksperimen Konfigurasi Komponen Sel Elektrolisis untuk Memaksimalkan pH larutan dan Gas Hasil Elektrolisis*. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.
- Swartling. D.J, Morgan, C. 1998. Lemon Cells Revisited—The Lemon-Powered Calculator. Department of Chemistry, Tennessee Technological University, Box 5055, Cookeville, TN 38505.
- Syukri, S. 1999, *Kimia Dasar* , Penerbit ITB, Bandung.
- Tipler, Paul A. 1994. *Fisika untuk Sains dan Teknik. Jilid ke-1*. Erlangga. Jakarta.