

**STUDI INTERAKSI AIR LAUT DAN GRAPHITE
SEBAGAI ELECTRIC GENERATOR**

DISERTASI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI RENEWEBLE ENERGI

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik**



**SATRYO BUDI UTOMO
NIM. 167060200111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**



DISERTASI

**STUDI INTERAKSI AIR LAUT DAN GRAPHITE
SEBAGAI ELECTRIC GENERATOR**

SATRYO BUDI UTOMO

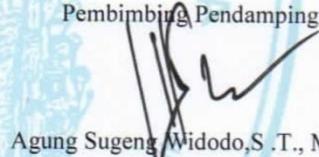
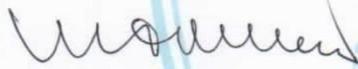
167060200111002

Telah dipertahankan di depan komisi penguji
pada tanggal 28 Mei 2019
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Doktor Teknik

Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

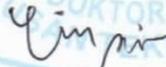
Pembimbing Pendamping I



Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.

Agung Sugeng Widodo, S.T., M.T, Ph.D.

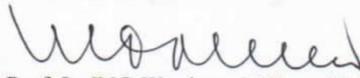
Pembimbing Pendamping 2



Winarto, S.T, M.T, Ph.D.

Malang,

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Doktor Teknik Mesin



Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

**Judul Disertasi : STUDI INTERAKSI AIR LAUT DAN GRAPHITE
SEBAGAI ELECTRIC GENERATOR**

Nama Mahasiswa : Satryo Budi Utomo

NIM : 167060200111002

Program Studi : Doktor Teknik Mesin

Minat : Reneweble Energi

KOMISI PEMBIMBING:

Pembimbing Utama : Prof. Ir. I N. G. Wardana, M.Eng., Ph.D.

Pembimbing Pendamping 1 : Agung Sugeng Widodo,ST.,MT.,Ph.D

Pembimbing Pendamping 2 : Winarto, ST.,MT.,Ph.D

DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.,Sc.

Dosen Penguji 2 : Dr.Eko Siswanto, ST.,MT.

Disertasi ini telah diuji:

Ujian Kualifikasi : 17 Februari 2017

Seminar Proposal : 19 Oktober 2017

Ujian Proposal : 28 Februari 2018

Sidang Hasil : 15 Maret 2019

Sidang Tertutup : 28 April 2019

PERNYATAAN ORIGINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah DISERTASI ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah DISERTASI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia DISERTASI dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 28 Mei 2019

Mahasiswa,



Satryo Budi Utomo
167060200111002

SERTIFIKAT PLAGIASI



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM DOKTOR




SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 898/UN10.F07.12.21/PP/2019

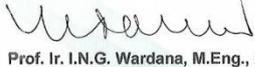
Sertifikat ini diberikan kepada :
SATRYO BUDI UTOMO

Dengan Judul Disertasi :
STUDI INTERAKSI AIR LAUT DAN GRAPHITE SEBAGAI ELECTRIC GENERATOR

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **10 Juli 2019**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

M. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D.
 NIP. 196705181994121001

Ketua Program Studi S3 Teknik Mesin

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D
 NIP. 19590703 198303 1 002



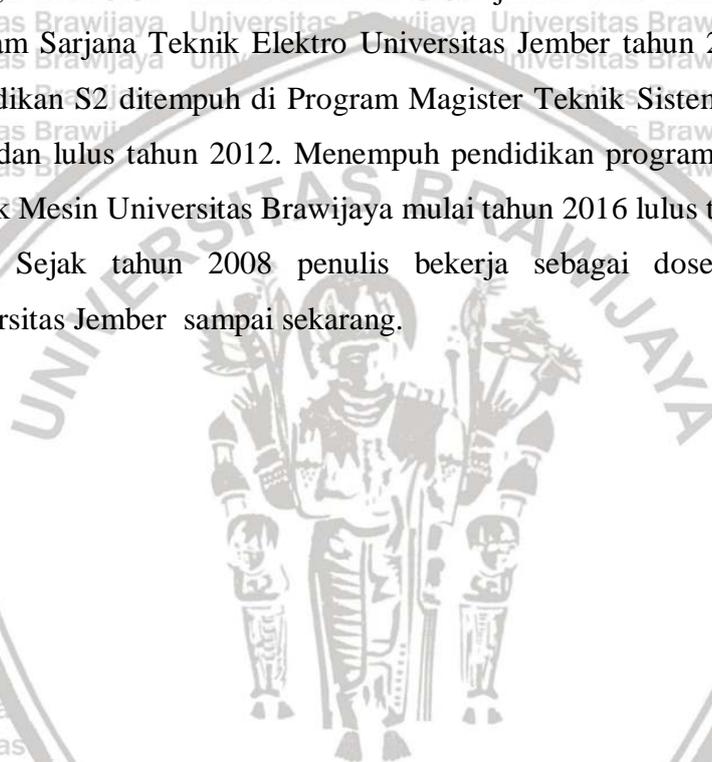
RIWAYAT HIDUP

Satryo Budi Utomo, dilahirkan di Bandung pada tanggal 26 Januari 1985 merupakan anak pertama dari pasangan Tommy Soetomo dan Rr. Siti Miryam Nurhasanah. Pendidikan dasar kelas 1 di tempuh di Bandung, kelas 2 hingga kelas 3 ditempuh di SD Ardimulyo Singosari Malang, kelas 4 hingga kelas 6 ditempuh di SD Xaverius 3 Palembang. Kemudian Pendidikan SMP dan SMA ditempuh di Jember, Yakni, SMPN 10 Jember dan SMAN 1 Arjasa Jember. Selepas SMA diterima di program Sarjana Teknik Elektro Universitas Jember tahun 2003, lulus tahun 2007. Pendidikan S2 ditempuh di Program Magister Teknik Sistem Pengaturan ITS tahun 2010 dan lulus tahun 2012. Menempuh pendidikan program S3 di Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya mulai tahun 2016 lulus tahun 2019

Sejak tahun 2008 penulis bekerja sebagai dosen di Jurusan Elektro Universitas Jember sampai sekarang.

Malang,

Satryo Budi Utomo



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “Studi Interaksi Air Laut dan Graphite sebagai Sumber Energi Listrik (Baterai)”.

Dalam melaksanakan ujian disertasi ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan masukan dari berbagai pihak, oleh sebab itu pada kesempatan yang baik ini penulis sampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat Bapak/ibu:

1. Prof. Dr. Ir. Nuhfil Hanani, M.S., selaku Rektor Universitas Brawijaya Malang.
2. Dr. Ir. Pitoyo Tri Juwono, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Dr. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan FT UNEJ dan Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT selaku ketua jurusan Teknik Elektro UNEJ yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan S3 di Universitas Brawijaya Malang.
4. Prof. Ir. I N. G. Wardana, M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Doktor Teknik Mesin dan Pembimbing Utama yang dengan sabar dan tak pernah bosan-bosannya memberi bimbingan, selalu meluangkan waktu, memberi masukan/ide dan penyelesaiannya, tenaga dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian, penulisan artikel internasional dan meresponnya serta penulisan disertasi ini.
5. Agung Sugeng Widodo, S.T.M.T, Ph.D., selaku Pembimbing Pendamping I atas segala arahan, bimbingan, masukan, tenaga, waktu, dan pikiran dalam menyelesaikan disertasi ini.
6. Winarto, S.T., M.T., Ph.D selaku Pembimbing Pendamping II atas segala arahan, bimbingan, masukan, tenaga, waktu, dan pikiran dalam menyelesaikan disertasi ini.
7. Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng.Sc. selaku penguji atas segala saran, koreksi, serta masukan demi penyempurnaan disertasi nantinya.
8. Dr. Eko Siswanto, S.T., M.T. selaku penguji atas segala saran, koreksi, serta masukan demi penyempurnaan disertasi nantinya.
9. Dosen beserta Staf Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.
10. Seluruh Keluarga Besar R. Abdul Karim yang telah banyak memberi dukungan baik moral maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan S3 di Universitas Brawijaya.
11. Istri tercinta Fitriana, serta Mertua dan kakak ipar yang telah banyak memberi motivasi, meluangkan waktu dalam melaksanakan penelitian dan menyelesaikan studi ini.
12. Teman-teman PDTM-UB Khususnya, PDTM 2016 serta teman –teman di jurusan Teknik Elektro UNEJ yang telah memberikan motivasi dan membantu dalam penyelesaian disertasi ini.
13. Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Riset dan Teknologi dan Kementerian Keuangan yang telah memberikan bantuan dana studi BUDI-DN.

Penulis menyadari keterbatasan pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran, kritik dan masukan yang membangun demi kesempurnaan disertasi nantinya. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih atas segalanya dan berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dibidang Energi Terbarukan.

Malang,

Penulis



RINGKASAN

Satryo Budi Utomo, Program Doktor, Minat Renewable Energi, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2019. *Studi Interaksi Air laut dan Graphite sebagai Electric Generator*. Pembimbing utama: Prof. Ir. I N. G. Wardana, M.Eng.,Ph.D., pembimbing pendamping I: Agung Sugeng Widodo, S.T.,M.T.,Ph.D pembimbing pendamping II: Winarto, S.T., M.Eng.,Ph.D

Sebagian besar sumber energi di dunia berasal dari fosil yang memiliki dampak berbahaya bagi lingkungan. Sangat penting untuk mempelajari sumber energi alternatif dan ramah lingkungan. Dalam penelitian ini kami mengembangkan generator listrik dari interaksi air laut dengan elektroda yang dikembangkan dari grafit, aluminium, tembaga, dan partikel kayu.

Banyak penelitian sebelumnya telah menggunakan elektroda graphene untuk menghasilkan energi listrik dari tetesan air hujan yang berinteraksi pada elektroda. Tegangan yang dihasilkan oleh dorongan tetesan air hujan pada elektroda adalah sekitar 129 microvolts [1, 2]. Peneliti lain mengukur waktu respons tegangan muatan selama interaksi tetesan air dengan elektroda. Mereka menemukan bahwa tegangan yang dihasilkan sebanding dengan energi kinetik tetesan air [3]. Keterbatasan mungkin timbul dari generator tenaga hujan; yaitu, ruang untuk instalasi sistem sebanding dengan jumlah daya yang dihasilkan. Oleh karena itu, daya listrik yang dapat dihasilkan dengan merendam elektroda ke dalam air laut dikembangkan dalam penelitian ini

Hasil dalam penelitian ini adalah elemen HO memiliki peran dalam mengganggu proses elektron yang terdelokalisasi dalam grafit yang menghasilkan lompatan elektron. Dampak lompatan tersebut dapat menghasilkan energi listrik. Ketika grafit berinteraksi dengan air laut, grafit akan memiliki muatan positif, sehingga dapat mengikat dengan elemen Cl. Ini karena kekuatan Vander Waals dan reaksi redoks. Efek ini menyebabkan grafit memiliki karakteristik kapasitor. Kombinasi GAL menghasilkan tegangan sekitar 580 mV, arus 75 nA.

SUMMARY

Satryo Budi Utomo, Doctoral Program of Mechanical Engineering, interest in Renewable Energy, Faculty of Engineering, Brawijaya University, 2019. **Study of Interaction Sea Water and Graphite as Electric Generator**. Promotor: Prof. Ir. I N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D. Co-Promotor 1: Agung Sugeng Widodo, S.T., M.T., Ph.D. Co Promotor 2: Winarto, S.T., M.T., Ph.D.

Most of energy sources in the world are coming from fossil having harmful impact on the environment. It is very important to study alternative and ecofriendly energy sources. In the present study we develop the electric generator from the interaction of sea water with electrode developed from graphite, aluminum, copper, and wood particle.

Many previous studies have used graphene electrodes to harvest electric energy from rain water droplet colliding on the electrode. The voltage produced by the impulse of rain water droplets on the electrodes is around 129 microvolts [1, 2]. Other researchers measure the response time of charge voltage during the interaction of the water droplet with the electrode. They found that the voltage generated is proportional to the water droplet kinetic energy [3]. Limitation may arise from rain power generator; i.e., the space for system installation is proportional to the amount of generated power. Therefore, electric power that can be generated by immersing electrode into sea water is developed in the present study

The result is H O element has a role in interrupting the delocalized electron process in graphite resulting in an electron jump. The impact of the jump can generate electrical energy. When graphite interacts with sea water, the graphite would have positive charge, so it can bind with the Cl element. This is due to the Vander Waals force and redox reactions. This effect causes graphite to have capacitor characteristic. The combination of GAL generates voltage of about 580 mV, current of 75 nA.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORIGINALITAS	iv
LEMBAR RIWAYAT HIDUP	v
LEMBAR UCAPAN TERIMA KASIH	vi
LEMBAR RINGKASAN	viii
LEMBAR SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Review Jurnal.....	5
2.1.1 Graphite Sebagai Elektroda Pada <i>Water Dropper System</i>	5
2.2. Review Literatur.....	5
2.2.1 Struktur Material <i>Graphite</i>	8
2.2.2 Gaya <i>Van Der Waals</i>	10
2.2.3 Kapasitas Listrik Sel.....	13
2.2.4 Katoda.....	14
2.2.5 Anoda.....	15



BAB 3. KERANGKA PENELITIAN..... 18

3.1 Kerangka Konsep..... 18

3.2 Tahapan Penelitian..... 23

3.3 Hipotesa..... 24

BAB 4. METODE PENELITIAN..... 25

4.1 Lokasi Penelitian..... 25

4.2 Perancangan Alat..... 36

4.2.1 Sensor ACS 712..... 36

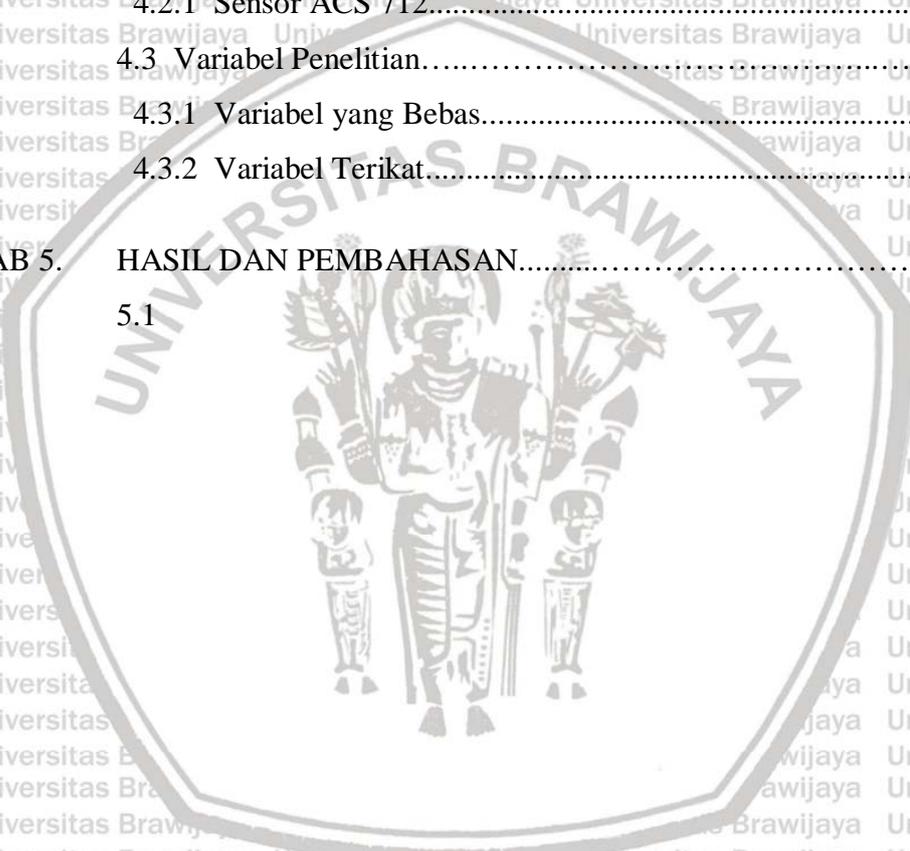
4.3 Variabel Penelitian..... 34

4.3.1 Variabel yang Bebas..... 37

4.3.2 Variabel Terikat..... 37

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 38

5.1



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “Studi Interaksi Air Laut dan *Graphite* sebagai *Electric Generator*”. Disertasi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dalam penyelesaian disertasi ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan masukan dari berbagai pihak utamanya Pembimbing utama, Pembimbing pendamping 1 dan 2 serta penguji. Oleh sebab itu pada kesempatan yang baik ini penulis sampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan, saran dan dukungan dalam mengatasi hambatan yang penulis hadapi.

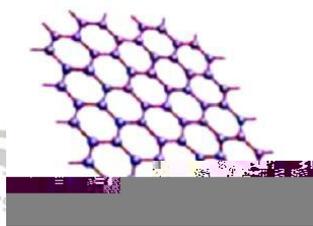
Penulis menyadari keterbatasan pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran, kritik dan masukan yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini nantinya. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih atas segalanya dan berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dibidang Energi Terbarukan.

Malang,

Penulis

Selain itu, penelitian sebelumnya juga memberikan doping pada material graphite seperti phosphates/fluorophosphates dan Prussian (Liu *et al.* 2016). Selain itu, bahan struktur berlapis, seperti tipe P₂ dan tipe O₃, telah dipelajari secara ekstensif dan dianggap salah satu kandidat bahan katoda yang paling menjanjikan untuk generasi berikutnya. Penggunaan komposisi P₂-Na₂ / 3 [Ni₁ / 3Mn₂ / 3] O₂ sebagai elektroda katoda juga sudah teruji menghasilkan tegangan 4,2 volt (Liu *et al.* 2016). Komposisi material elektrolit menentukan jumlah ion yang di transfer. Material ini memiliki sifat ion konduktif. Hal ini sangat diperlukan supaya tidak ada hubungan pendek antara Anoda dan Katoda yang menyebabkan panas. Pembuatan material elektroda Katoda dan Anoda yang baik tergantung kombinasi material yang akan dicampurkan untuk mengetahui karakteristik perbedaan nilai tegangan kerja dari kedua material yang dipilih [Brand *et al.* 2016; Cabrane, Ouassaid, and Maaroufi 2016; Fang *et al.* 2016; Fei, Feng, and Xu 2017; Fulton 2017; Hahn *et al.* 2017; Peng and Jiang 2016; Yuksel *et al.* 2017; Y. Zhang, Du, and Salman 2017, 2017]. Mekanisme ini dikaitkan dengan konduktivitas elektronik dan difusi elektroda dan sifat ionik elektroda.

Graphite dan graphene adalah bahan yang banyak digunakan sebagai elektroda. Graphene terdiri dari hibridisasi sp² atom karbon yang memiliki struktur hexagonal dan tersusun dalam kisi kristal honeycomb (Geim and Novoselov, 2007). Bahan karbon dua dimensi ini memiliki luas permukaan spesifik 2.600 m²/G (Stoller *et al.*, 2008) dengan struktur sarang lebah yang berpotensi menghasilkan kapasitas penyimpanan baterai yang lebih tinggi.



Gambar 1.1 Struktur Material graphene (Netro, 2009)

Selanjutnya, mobilitas elektron yang tinggi (15.000 cm²/(V·s)), konduktivitas termal yang luar biasa (3000 W/(m·K)) (Bolotin *et al.*, 2008), stabilitas kimia dan sifat mekanik yang baik menjadi target yang menarik untuk membentuk material yang digunakan sebagai dasar elektroda. Graphene dapat diproduksi dengan beberapa metode

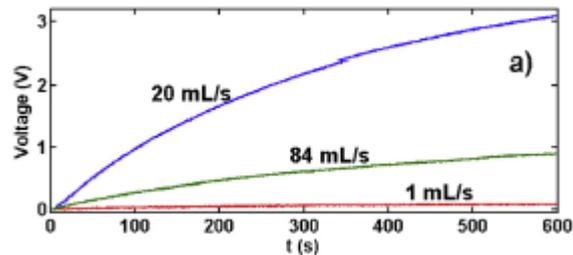
BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Efek pemakaian energi fosil berlebihan menyebabkan kerusakan lingkungan. Sumber energi alternatif ramah lingkungan sangat penting untuk diteliti. Dalam penelitian ini dikembangkan generator listrik dari interaksi air laut dengan elektroda graphite, aluminium, tembaga, dan partikel kayu. Banyak penelitian sebelumnya telah menggunakan elektroda graphite untuk menghasilkan energi listrik dari tetesan air hujan yang berinteraksi pada elektroda dengan metode *water dropper system*. Tegangan yang dihasilkan oleh interaksi tetesan air hujan pada elektroda adalah sekitar 120 micro Volts [Y.Zhao,2018] [Q. Liang,2016]. Peneliti lain mengukur waktu respon tegangan saat tetesan air berinteraksi dengan elektroda. Peneliti menemukan bahwa tegangan yang dihasilkan sebanding dengan energi kinetik tetesan air [J.Tarelho,2018] [S.Pedot,2017]. Penyebab timbulnya listrik dari tenaga hujan, yaitu ruang interksi sistem sebanding dengan jumlah daya yang dihasilkan. Pembangkit listrik jenis ini mengatasi masalah ruang karena dapat ditumpuk secara vertikal. Namun, bahan elektroda harus diperhitungkan karena mereka sangat mempengaruhi jumlah dan kondisi transfer muatan [LE,Hesleth,2016] [D.Borka,2018].

Pada penelitian sebelumnya bahan grafit sebagai elektroda telah banyak digunakan dalam baterai. Komposisi campuran grafit dapat meningkatkan kinerja baterai [B,Swain,2017][Y,Wang,2015]. Tiga komponen penting pada baterai adalah Anode, Katode, dan larutan elektrolit (N. Deng *et al.* 2016). Dalam mengkombinasikan material anoda dan katoda merupakan hal yang sangat penting hingga menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Pemilihan komposisi material di dalam elektroda supaya memilikidaya listrik yang tinggi memang dibutuhkan untuk membentuk sel baterai yang memiliki daya besar. Pada prinsipnya elektron dalam elektroda akan bergerak bebas saat terhubung dengan beban. Oleh karena itu, material anoda dan katoda juga harus memiliki sifat elektron konduktif. Material anoda dan katoda tidak harus bersifat konduktif ionik, tetapi juga memiliki sifat konduktif elektronik. Ketika charge ion akan dilepaskan dari anoda ke katoda melalui elektrolit, sehingga elektroda memiliki sifat konduktif ionik. Berkaitan dengan hal itu elektron bergerak menuju Anoda, dan Katoda harus memiliki sifat konduktif elektronik.

Pada Gambar 2.2. Pengujian elektroda dilakukan dengan berbagai posisi pada bidang datar dan dan bidang datar. Hal ini dilakukan untuk melihat tegangan yang dihasilkan.



Gambar 2.3 Respon Tegangan ketika Jumlah Air Bervariasi.

Pada Gambar 2.3 menunjukkan tegangan yang dihasilkan yang berbeda beda. hal ini disebabkan oleh perubahan jumlah air yang ditetaskan sebesar 20 mL/s , 84 mL/s, 1 mL/1.

Penelitian Y,Zhao, 2018 melakukan tetesan air hujan diatas elektroda berbahan graphene. Mekanismenya adalah mengkonversi tetesan air hujan menjadi energi listrik.

Energi hujan sebagai sumber utama. siklus listrik terjadi karena graphene mengandung elektron dan air hujan mengandung kationnya. (Gambar 2.4)

Gambar 2.4 Graphene ditetesi air hujan

Tujuan penelitian ini menemukan tegangan optimal dengan mengubah komposisi perbandingan graphene bervariasi dengan range (20– 95) wt%. Dalam proses pembuatan elektroda, jumlah perubahan komposisi graphene mengakibatkan resistansi bahan berubah. Semakin banyak komposisi graphene menyebabkan resistansi material semakin rendah.

Gambar 2.6 menunjukkan bahwa jumlah air yang menetes ke elektroda sebanding dengan tegangan yang dihasilkan. Pengujian ini diukur dengan osciloskop.

2.2 Review Literatur

2.2.1 Struktur Material Grafit

Struktur kristal grafit terdiri dari cincin heksagonal yang membentuk pelat paralel tipis (graphene). Setiap atom karbon terikat pada tiga atom lain di lempengan (sudut yang terbentuk antara dua ikatan adalah 120°). Kulit elektron terluar dari atom karbon memiliki empat elektron valensi, tiga di antaranya digunakan oleh ikatan kovalen. Elektron valensi keempat tidak mengambil bagian dalam ikatan kovalen dan dapat dengan mudah dipindahkan dari kulit elektron oleh medan listrik. Elektron ini memberikan konduktivitas listrik dari grafit. Graphite saling mengikat satu sama lain diakibatkan gaya Van der Waals yang lemah. Struktur berlapis grafit memungkinkan gerakan geser pelat graphene paralel. Ikatan yang lemah di antara pelat menentukan kelembutan dan sifat *self-lubricate* dari grafit.

Kombinasi sifat yang langka ini karena struktur kristalnya. Atom karbon diatur secara heksagon dalam sistem cincin terkondensasi planar. Lapisan ditumpuk sejajar satu sama lain. Atom-atom di dalam cincin terikat secara kovalen, sementara lapisan-lapisannya secara longgar dihubungkan oleh gaya van der Waals. Tingginya tingkat anisotropi dalam grafit disebabkan oleh dua jenis ikatan yang bekerja dalam berbagai arah kristalografi.

Grafit dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama: alami dan sintesis.

Natural grafit adalah mineral yang terbuat dari karbon grafit. Ini berbeda secara signifikan dalam kristalinitas. Sebagian besar grafit komersial (alami) ditambang dan sebagian besar mengandung mineral lain. Setelah grafit ditambang, seringkali membutuhkan sejumlah besar pengolahan mineral seperti flotasi buih untuk memekatkan grafit. Grafit alam adalah konduktor listrik dan panas yang luar biasa, stabil pada kisaran suhu yang luas dan bahan yang sangat tahan api dengan titik leleh tinggi (3650°C).

Grafit alam dibagi menjadi tiga jenis:

- a. Amorf
- b. Flake Kristal
- c. Amorf Grafit

Di antara grafit alam, grafit amorf adalah grafit yang paling sedikit. Namun, istilah "amorf" tidak akurat karena bahannya masih berupa kristal. Grafit amorf dapat

ditemukan sebagai partikel kecil di lapisan batuan mesomorfik seperti batu tulis, batubara atau endapan serpih. Konten grafit berkisar dari 25% hingga 85% berdasarkan lingkungan geologis.

Grafit amorf diekstraksi menggunakan metode penambangan konvensional dan dapat ditemukan terutama di Meksiko, Korea Selatan, Korea Utara, dan Austria.

Flake graphite terjadi pada batuan metamorf yang terdistribusi secara merata melalui tubuh bijih atau dalam saku berbentuk lensa terkonsentrasi. Konsentrasi karbon berkisar dari 5% hingga 40%. Serpihan grafit dapat ditemukan sebagai bentuk bersisik atau lamela pada batuan metamorf tertentu seperti batu kapur.

Flake graphite terjadi pada batuan metamorf yang terdistribusi secara merata melalui tubuh bijih atau dalam saku berbentuk lensa terkonsentrasi. Konsentrasi karbon berkisar dari 5% hingga 40%. Serpihan grafit dapat ditemukan sebagai bentuk bersisik atau lamela pada batuan metamorf tertentu seperti batu kapur. Lebih dari 98% grafit serpih diproduksi menggunakan proses benefisasi kimia. Flake graphite dapat ditemukan di beberapa tempat di seluruh dunia.

Crystalline graphite dikatakan berasal dari simpanan minyak mentah yang telah berubah menjadi grafit melalui waktu, tekanan dan suhu. Fisura vena grafit biasanya berukuran antara 1 cm dan 1 m dan biasanya lebih dari 90% murni. Meskipun jenis grafit ini dapat ditemukan di seluruh dunia, hanya Sri Lanka yang secara komersial menambangnya dengan metode penambangan permukaan atau poros konvensional.

Tabel 2.1 Karakteristik *Graphite*

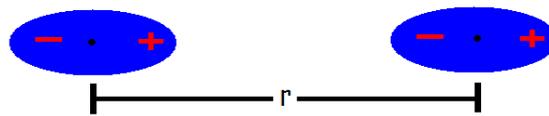
Properti	Grafit Komersial
Massal Kepadatan (g / cm ³)	1.3-1.95
Porositas (%)	0,7-53
Modulus Elastisitas (GPa)	8-15
Kekuatan tekan (MPa)	20-200
Kekuatan lentur (MPa)	6,9-100
Koefisien Ekspansi Termal (x10 ⁻⁶ ° C)	1,2-8,2
Konduktivitas termal (W / mK)	25-470
Kapasitas panas spesifik (J / kg.K)	710-830
	5x10 ⁻⁶ -30x10 ⁻⁶

Grafit sintetik sebagian besar terdiri dari karbon grafit yang telah diperoleh dengan perlakuan panas karbon non-grafit, grafitisasi, atau deposisi uap kimia dari hidrokarbon pada suhu di atas 2100 K. Meskipun tidak sejelek grafit alami, tapi

cenderung memiliki kemurnian yang lebih tinggi. Ada dua jenis grafit sintetis. Salah satunya adalah elektrografit, karbon murni yang terbuat dari batubara dan kokas minyak bumi terkalsinasi dalam tungku listrik. Yang kedua adalah grafit sintetik, dibuat dengan memanaskan *pitch* minyak bumi yang dikalsinasi hingga 2800°C . Secara umum, grafit sintetik memiliki densitas yang lebih rendah dan porositas serta hambatan listrik yang lebih tinggi. Porositasnya yang ditingkatkan membuatnya tidak sesuai untuk aplikasi tahan api.

2.2.2 Gaya Van der Waals

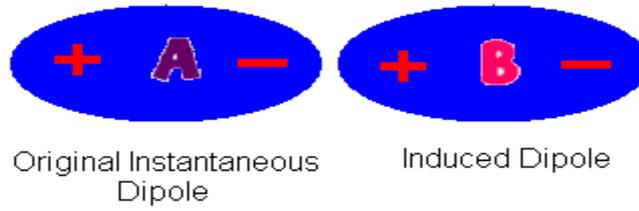
Van der Waals didorong oleh interaksi listrik yang diinduksi antara dua atau lebih atom atau molekul yang sangat dekat satu sama lain. Interaksi Van der Waals adalah yang paling lemah dari semua gaya tarik antarmolekul antar molekul. Namun, dengan banyak kekuatan Van der Waals berinteraksi di antara dua objek, interaksinya bisa sangat kuat. Dipol-Dipol terjadi antara molekul yang memiliki dipol permanen; molekul-molekul ini juga disebut sebagai molekul polar. Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan interaksi elektrostatik antara dua dipol.



Gambar 2.7 Interaksi dua dipol

Energi potensial interaksi untuk pasangan atas gambar di atas diwakili oleh persamaan:

Energi potensial interaksi untuk bagian bawah pasangan diwakili oleh persamaan:



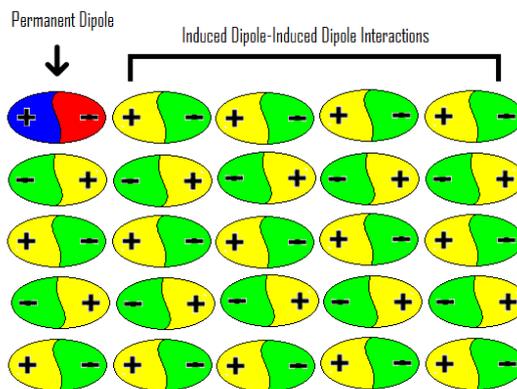
Gambar 2.9. Sinkronisasi fluktuasi dipol

Energi potensial yang mewakili interaksi dipol yang dipol adalah:

$$V = -\frac{\alpha\mu^2}{4\pi\epsilon_0 r^6}$$

Polarizability mendefinisikan nilai kerapatan elektron suatu atom atau molekul dapat terdistorsi oleh medan listrik eksternal.

Interaksi dipol diinduksi spontan juga dikenal sebagai dispersi atau pasukan London (nama setelah fisikawan Jerman Fritz London). Molekul yang telah menginduksi dipol juga dapat menginduksi molekul tetangga untuk memiliki momen dipol, sehingga jaringan besar interaksi dipol yang diinduksi dipol diinduksi mungkin ada. Gambar di bawah ini mengilustrasikan jaringan interaksi dipol-dipol yang diinduksi.



Gambar 2.10. Jaringan interaksi dipol yang terinduksi



Energi potensial dari interaksi dipol-diinduksi dipol-diinduksi diwakili oleh persamaan ini:

$$V = -\frac{3}{2} \frac{I_a I_b}{I_a + I_b} \frac{\alpha_a \alpha_b}{r^6}$$

” II = Energi ionisasi pertama dari molekul

Jari-jari adalah penentu besar energi potensial karena energi potensial berbanding terbalik dengan r^6 . Peningkatan kecil dalam jari-jari, akan sangat mengurangi energi potensial interaksi.

2.2.3 Kapasitas Listrik Sel

Kapasitas listrik suatu sel baterai ditentukan oleh banyaknya material aktif yang secara langsung ikut dalam proses elektrokimia. Besaran ini umumnya dinyatakan dalam coulombs atau ampere-hours. Nilai teoritis dari suatu material dengan berat 1 gram-equivalent akan menghasilkan 96.487 coulombs atau 26.8 Ah.

Tabel 2.2 Tegangan dan Kapasitas listrik dari sistem sel baterai [9]

Tipe Baterai	Anoda/Kathoda	Reaksi	V	Ah/kg
Baterai Primer				
Leclanché	Zn / MnO ₂	Zn + 2MnO ₂ → ZnO + Mn ₂ O ₃	1,4-1,6	224

Kapasitas sel baterai sering pula dinyatakan dalam energi. Besarnya nilai ini adalah hasil kali dari tegangan baterai dan besarnya arus listrik yang dihasilkan dibagi dengan

total berat material aktif. Dengan demikian satuan nilai ini adalah Wh/Kg dan diformulasikan sebagai:

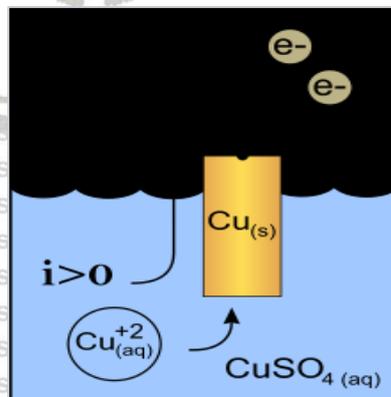
$$Q = \frac{PDK Q: \# D; L 8 K H P}{8 C T A \# I L A N A K Q: \# D;} \quad (1)$$

Tabel 2.3. Tegangan dan Kapasitas listrik baterai sekunder [9]

Baterai Sekunder	
------------------	--

2.2.4 Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalirkan arus konvensional meninggalkan perangkat listrik terpolarisasi. Arus konvensional menggambarkan arah pergerakan muatan positif. Elektron memiliki muatan listrik negatif, sehingga pergerakan elektron berlawanan dengan aliran arus konvensional



Gambar 2.11. Aliran arus katoda

Diagram dari tembaga katoda dalam sel galvanik. Kation bermuatan positif bergerak menuju katoda memungkinkan arus positif i mengalir keluar dari katoda.

Katoda dan anoda dapat positif atau negatif tergantung pada perangkat dioperasikan.

Meskipun bermuatan, positif kation selalu bergerak ke arah katoda dan negatif anion menjauh darinya, polaritas katoda tergantung pada jenis perangkat, dan bahkan dapat bervariasi sesuai dengan mode operasi. Dalam perangkat yang menyerap energi pengisian (seperti mengisi ulang baterai), katoda negatif (elektron mengalir keluar dari katoda, dan muatan mengalir ke dalamnya), dan dalam perangkat yang menyediakan energi (seperti baterai digunakan), katoda positif (elektron mengalir ke dalamnya dan muatan mengalir keluar).

Tabel 2.4 Kapasitas listrik material Katoda [9]

Material	Atomic or molecular weight, g	Standard reduction potential at 25°C, V	Valence change	Melting point, °C	Density, g/cm ³	Electrochemical equivalents		
						Ah/g	g/Ah	Ah/cm ² ‡
Cathode materials								
O ₂	32.0	1.23 0.40†	4	—	—	3.35	0.30	
Cl ₂	71.0	1.36	2	—	—	0.756	1.32	
SO ₂	64.0	—	1	—	—	0.419	2.38	
MnO ₂	86.9	1.28†	1	—	5.0			

2.2.5 Anoda

Dalam sel galvanik, anoda adalah elektroda negatif, elektron mengalir ke arah bagian luar rangkaian. Secara internal kation bermuatan positif mengalir jauh dari anoda, tetapi di luar sel dalam sirkuit, elektron didorong keluar melalui kontak negatif melalui sirkuit oleh potensial tegangan seperti yang diharapkan. Istilah anoda dan katoda tidak didefinisikan oleh polaritas tegangan elektroda tetapi arah arus melalui elektroda. Anoda

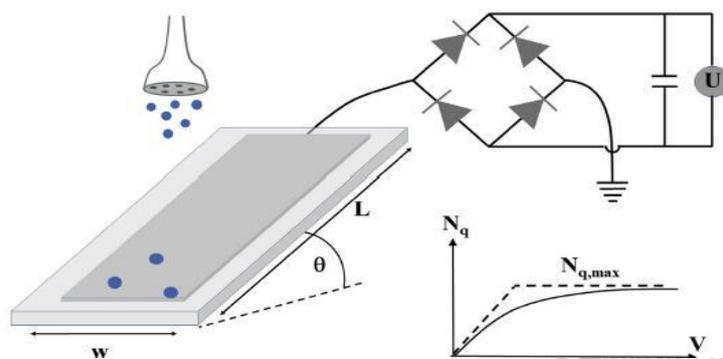
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dikelompokkan menjadi dua yaitu: Pertama adalah review jurnal yang merupakan penelitian-penelitian sejenis yang telah dilakukan. Kedua tinjauan pustaka dari teori-teori atau referensi yang mendukung hipotesa penelitian.

2.1 Review Jurnal

2.1.1 Graphite sebagai elektroda pada Water Dropper System

Penelitian Helseth, 2016 melakukan tetesan air diatas permukaan elektroda berbahan polimer seperti gambar 2.1. Tujuan studi ini untuk mengungkapkan karakteristik polimer hidrofobik melalui kontak dengan air. Tetesan air berikutnya akan membantu pembentukan lapisan ganda listrik pada permukaan polimer, sehingga mengakibatkan arus mengalir melalui sirkuit eksternal ketika tetesan air melewati tepi elektroda logam dan tersimpan dalam kapasitor.



Gambar 2.1 Water Dropper System

Gambar 2.2 Posisi elektroda ketika ditetesi air

BAB III
KERANGKA KONSEP

3.1 KERANGKA KONSEP

Pada umumnya material graphite atau graphene telah digunakan pada penelitian sebelumnya pada baterai lithium untuk meningkatkan respon arus dan tegangannya. Dalam penelitian ini, peneliti ingin mengungkapkan pola interaksi elektron pada material graphite (PGE 4B dan PGE 8B) menggunakan prinsip water dropper system. Tetapi peneliti ingin mengembangkan kombinasi material yang baru sehingga menghasilkan respon arus dan tegangan yang tinggi menggunakan konsep water dropper system. Perbedaan antara sistem baterai dan water dropper sistem (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Perbedaan *Bateery System* dan *Water Dropper System*

KONSEP	Battery System Penelitian Sebelumnya	Water Dropper System (Penelitian saat ini)
Tingkat Konduktifitas	Tingkat tegangan dan arus yang dihasilkan berdasarkan jumlah dari sel yang tersusun dalam baterai dan harus terjadi reaksi redoks	Tingkat tegangan dan arus yang dihasilkan berdasarkan energi kinetik dari benda/larutan yang dijatuhkan serta tidak harus memiliki reaksi redoks
Mekanisme	Sel Elektroda harus direndam pada larutan yang mengandung elektrolit	Sel Elektroda di tetesi cairan yang tidak harus mengandung elektrolit
Jumlah Sel	Jumlah sel elektroda lebih dari satu sel	Hanya satu sel Elektroda
Karakteristik	Elektroda tidak harus memiliki sifat piezoelectrik	Elektroda memiliki sifat piezoelektrik

KONSEP	Battery System Penelitian Sebelumnya	Water Dropper System (Penelitian saat ini)
Prinsip Kerja	Arus listrik dihasilkan akibat adanya gerakan elektron dari polaritas negatif ke polaritas positif	Arus listrik dihasilkan oleh energi kinetik dari benda/cairan yang dijatuhkan menyebabkan pergerakan elektron akibat dari reaksi redoks
Metode terjadinya lompatan elektron	Graphite / Graphene di doping oleh material aktif sehingga meningkatkan pergerakan elektron	Proses delokalisasi graphite diganggu oleh unsur cairan yang jatuh
Peneliti sebelumnya	Kucinskis, 2013 Graphene digunakan sebagai material katoda yang didoping dengan material lain sehingga menghasilkan tegangan yang berbeda beda	Y,Zhao, 2018 Graphene ditetesi air hujan menghasilkan tegangan 129,83 μ V Menggunakan metode piezoelektrik J, Tahelho,2018 Graphene ditetesi air biasa menghasilkan tegangan 400 mV menggunakan metode piezoelektrik

Dalam perkembangan teknologi sel baterai ditentukan oleh material anoda dan katoda yang berpengaruh pada laju migrasi elektron. Ketika elektron banyak yang bergerak di katoda ke anoda bertambah besar menyebabkan sel baterai memiliki densitas energi yang sebanding. Ketika jumlah ion didalam sel baterai yang bergerak dari anoda ke katoda menyebabkan semakin besar daya sel baterai tersebut. Performa sel baterai sangat berpengaruh pada jumlah dan kondisi transfer muatan/*charge transfer* (Swain 2017). Mekanisme ini berhubungan dengan konduktifitas elektronik dan difusi elektroda dan sifat ionik elektroda.

Ada bermacam macam jenis elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah alumunium, tembaga dan graphite. Tingkat kereaktifan elektroda alumunium dan tembaga mengacu pada teori deret volta. Berdasarkan teori Deret Volta , urutan unsur logam sesuai tabel 3.2 potensial elektrode standar.

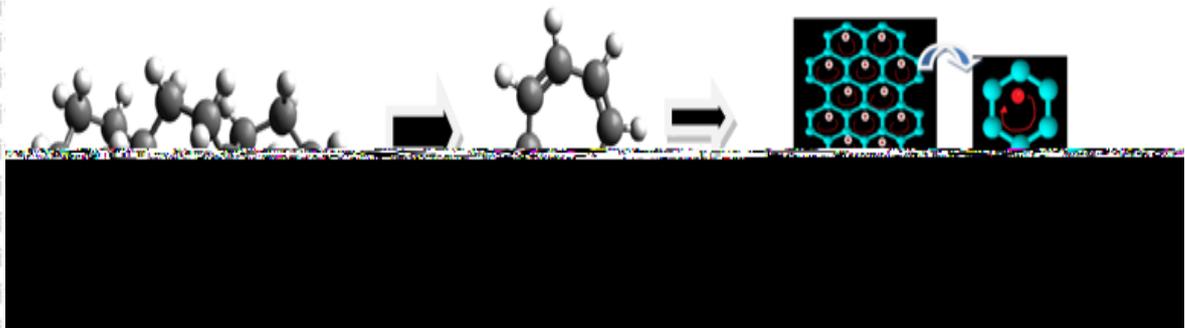
Tabel 3.2 Standar Potensial Elektroda

Logam	Li	K	Rb	Cs	Na	Mg	Al	Zn	Cd	Fe	Ni	Cu

Berdasarkan dengan teori deret volta menunjukkan bahwa alumunium lebih reaktif daripada tembaga.

Sedangkan elektroda graphite terbuat dari bahan karbon. Graphite tidak memiliki polaritas tertentu. Berdasarkan teori delokalisasi elektron, graphite ini memiliki ikatan ganda. Pada struktur graphite ini menunjukkan bahwa ikatan antara atom C dalam cincin juga setara. Elektron graphite membentuk ikatan antar atom C dan digunakan bersama oleh seluruh atom C, sehingga menjadi sebuah sistem delokalisasi yang sangat stabil karena ada elektron yang bergerak bebas mengelilingi cincin seperti pada gambar 3.1.

Pada penelitian ini jenis sampel elektroda ada tiga macam yaitu Karbon (graphite), alumunium, dan tembaga. Unsur karbon terletak pada golongan 14 dan periode 2. Unsur alumunium terletak pada golongan 13 dan periode 3. Tembaga terletak pada golongan 11 dan periode 4.

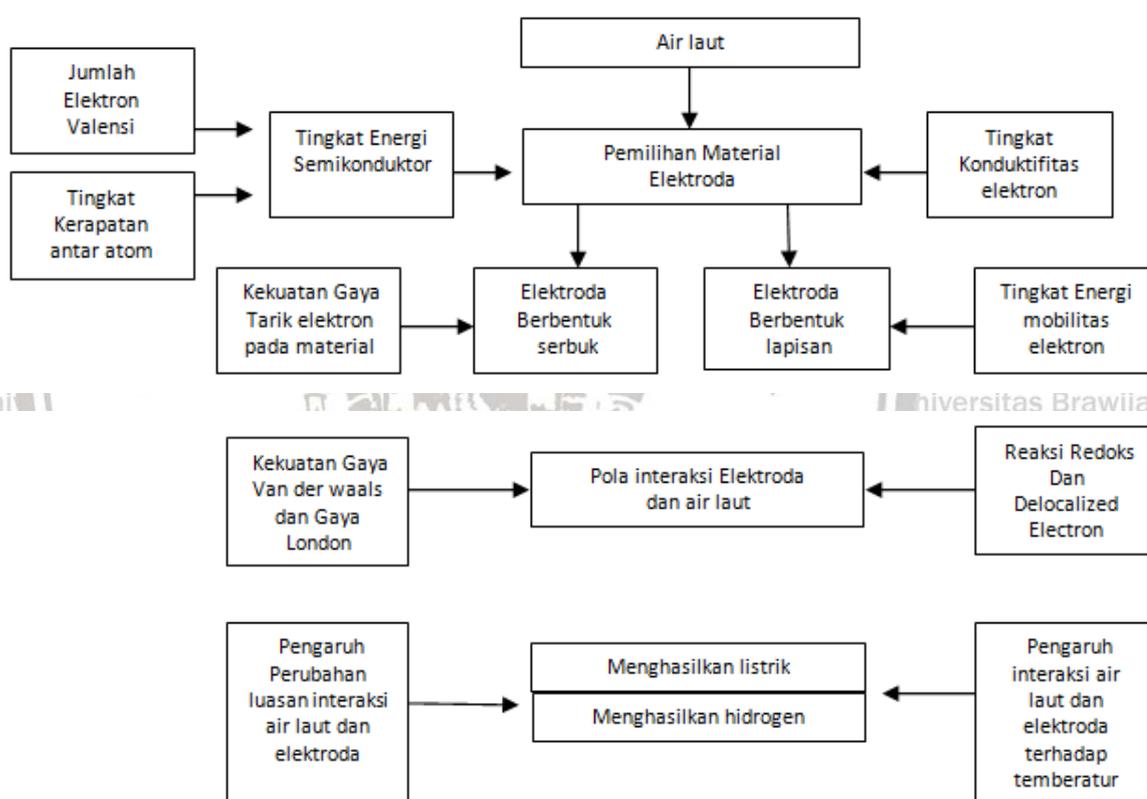


Gambar 3.1 Prinsip Delokalisasi Elektron

Karbon memiliki radius atom 0,76 nm dan tembaga memiliki radius atom 1,30 nm dan aluminium memiliki radius 0,143 nm. Tembaga memiliki radius paling jauh.

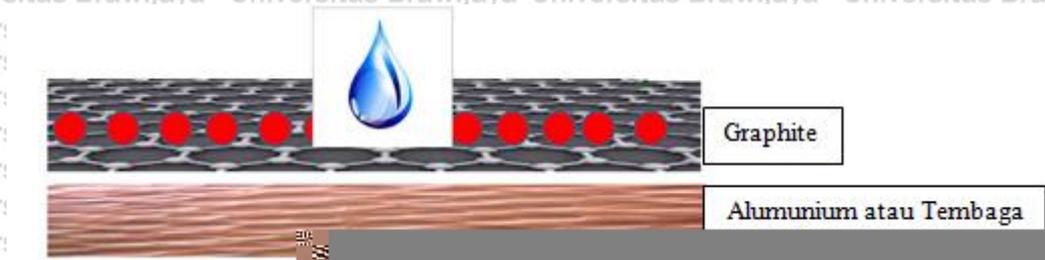
Berdasarkan teori energi ionisasi karbon memiliki 1086 kJ/mol dan tembaga memiliki 745 kJ/mol dan aluminium memiliki radius 577 kJ/mol.

Berdasarkan teori keelektronegatifan karbon memiliki 2,55 dan tembaga memiliki 1,9 dan aluminium memiliki radius 1,61. Seluruh pendekatan teori dalam penelitian gambar 3.2



Gambar 3.2 Blok Diagram Penelitian

Fokus penelitian yang akan dibahas dalam penelitian adalah menjelaskan peran dari unsur kimia yang terkandung dalam air laut, air garam, dan air biasa yang mampu mengganggu proses delokalisasi elektron dalam graphite. Berdasarkan Tabel 3.1 menunjukkan penelitian ini berbeda dengan penelitian lain yaitu menggunakan air laut, air garam, air biasa dengan metode *water dropper system*. Tujuan penelitian ini memilih kombinasi material yang memiliki respon tegangan dan arus yang optimal.



Gambar 3.3 Desain Material

Gambar 3.3 menunjukkan sebuah elektron graphite menjadi elektron bebas ketika diberi cairan. Hal ini disebabkan karena cairan memiliki unsur kimia yang memiliki muatan berbeda.

Arus listrik dirumuskan :



3.3 Hipotesa.

Berdasarkan kerangka konsep di atas dapat ditarik hipotesa sebagai berikut:

1. Dalam Pengujian SEM EDX menunjukkan Graphite 8B memiliki konsentrasi silikon 6,87 wt% , lebih besar dari Graphite 4B memiliki konsentrasi silikon 5,18 wt% sehingga menyebabkan graphite 8B lebih konduktif.
2. Dalam proses air laut diteteskan pada elektroda menunjukkan elektroda graphite aluminium menghasilkan tegangan lebih tinggi daripada graphite-tembaga. Hal ini disebabkan tembaga memiliki afinitas elektron 118.3 kJ/mol dan aluminium 42,6 kJ/mol, sehingga aluminium lebih mudah melepaskan elektron.

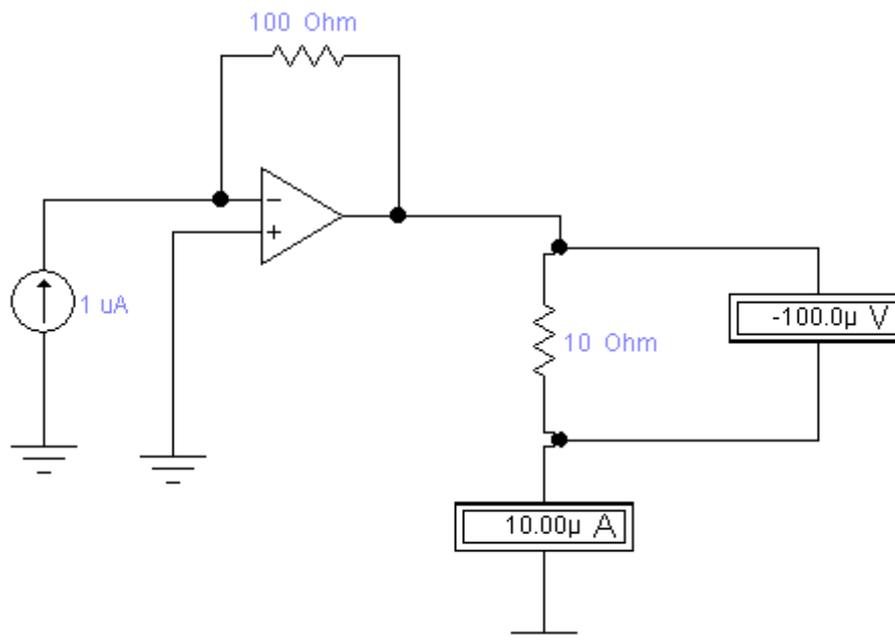


BAB IV METODA PENELITIAN

4.1 Metoda Penelitian

Penelitian menggunakan dua metode yaitu metode menggambar dan simulasi menggunakan software EWB, Chemskecth, Avogadro. Metode *experimental* yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mengetahui respon arus dan tegangan yang dihasilkan.

Electronic Work Bench adalah *software* yang digunakan untuk menggambar dan menganalisa rangkaian elektronika. Di bagian riset ini, akan disimulasi rangkaian penguat menggunakan Op-amp.



Gambar 4.1 Rangkaian Penguat Op-Amp

Dalam metode penelitian ini dijelaskan langkah-langkah penggunaan software EWB 5.12

Langkah 1. Tempatkan komponen di jendela sirkuit

Untuk membangun sirkuit, diperlukan sumber arus, dua resistor, dan koneksi ground. Pasang komponen untuk rangkaian.

1. memilih File / Baru untuk membuka file sirkuit baru.
2. meng-klik di menu alat Bagian. Toolbar dasar akan muncul.
3. Menyeret dua resistor dari menu alat ke jendela sirkuit.

Langkah 2. Mengatur elemen-elemen rangkaian

Posisi rangkaian dapat mengubah orientasi elemen-elemen rangkaian baik dengan memutarnya atau membalikinya. Untuk melakukan ini, pilih elemen sirkuit dan klik pada ikon rotated / flip standar pada toolbar, atau pilih operasi yang diinginkan di bawah Circuit. Dalam hal ini ingin memutar kedua resistor.

1. Memilih keduanya dengan CTRL + klik, atau dengan menyeret mouse ke atas mereka.
2. Memilih cara favorit untuk memutar 90 derajat.

Perhatikan bahwa elemen rangkaian yang dipilih disorot / diubah warnanya.

Langkah 3. Kawat komponen bersama-sama

Sebagian besar komponen memiliki garis pendek yang menunjuk ke luar, terminal.

Untuk menyatukan komponen, Anda harus membuat kabel di antara komponen.

1. Memindahkan penunjuk ke terminal di bagian atas. Ketika berada di posisi yang tepat untuk membuat koneksi, titik hitam muncul. Sekarang seret kabel ke atas resistor atas. Sekali lagi titik hitam muncul, dan kawat masuk ke posisinya.
2. Kawat sisa komponen dengan cara yang sama dan harus berakhir dengan sesuatu seperti ini:

Langkah 4. Menetapkan nilai untuk komponen

Pada awalnya, setiap komponen memiliki nilai standar yang telah ditentukan sebelumnya, misalnya arus diatur ke 1 mA. maka dapat mengubah semua nilai komponen agar sesuai dengan aplikasi Anda.

1. Meng-Klik dua kali pada komponen.
2. Memilih VALUE
3. mengubah nilainya.
4. meng-Klik OK.

Langkah 5. menyimpan sirkuit

Anda. Simpan pekerjaan sesering mungkin!

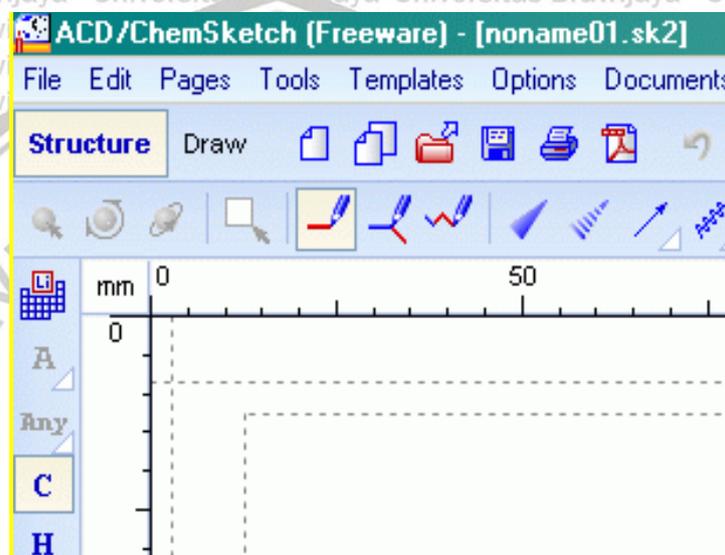
1. Memilih File / Simpan.
2. Melanjutkan dengan cara normal untuk menyimpan file.

Langkah 6. memasang voltmeter

Untuk mengukur tegangan di sirkuit dapat menggunakan satu atau lebih voltmeter.

1. Memilih voltmeter dari menu alat indikator ke jendela sirkuit.
2. Memilih kabel dari terminal voltmeter ke titik di sirkuit dan ingin mengukur tegangan.
3. Mengaktifkan sirkuit dengan mengklik tombol daya di sudut kanan atas jendela EWB.

Software kedua yang digunakan dalam riset ini adalah *ChemSketch*. *Chemsketch* berfungsi menggambar struktur kimia, dan melihatnya sebagai model tiga dimensi (3D).



Gambar4.2. Tangkapan Layar *Chemsketch*

Dua tombol alat sudah "menyala" ketika membuka *ChemSketch*. Salah satunya di sepanjang sisi kiri, berlabel C, untuk karbon. Yang lainnya adalah alat yang terlihat seperti pensil menggambar garis, di sepanjang baris horizontal alat ke-2 di dekat 20-25 tics pada penggaris. Alat ini, bernama "Draw Normal", adalah alat yang digunakan untuk menggambar biasa. Selain itu, *ChemSketch* dalam mode "struktur", seperti yang ditunjukkan oleh kata "Struktur" yang menyala (baris tombol atas, di sebelah kiri).

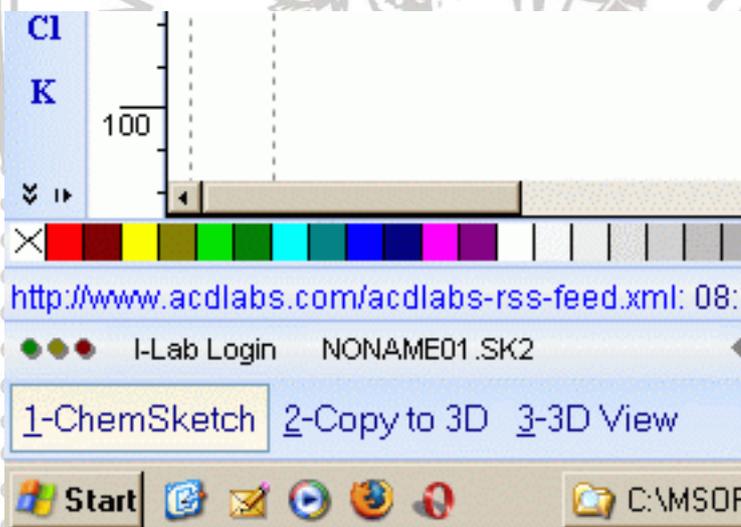
Semua pengaturan yang disebutkan di sini harus siap ketika pertama kali membuka *ChemSketch*.

Langkah –Langkah untuk mengubah 3D dalam *chemsketch*

1. Mengkonversi gambar 2D ke 3D. Untuk melakukan ini, buka **Alat** menu, dan pilih **Optimasi Struktur 3D**. Atau, dapat mengklik tombol di dekat ujung kanan bilah alat kedua; tombolnya terlihat seperti model graphite dan menyala dengan nama **3D**

Optimization. Jika ingin mengedit struktur lebih lanjut, pertama-tama batalkan pengoptimalan 3D. Buka **Edit** menu, dan pilih **Undo 3D optimization**.

2. Mengklik pada tombol segi empat berlabel **Salin ke 3D**, dekat sudut kiri bawah layar (Gbr 4, di bawah). ChemSketch sekarang akan beralih ke modul 3D, dan menampilkan molekul yang telah di gambar. Jika tidak melihat tombol **Salin ke 3D**, itu berarti belum dibuka program Penampil 3D. Penampil 3D dapat di buka dengan mengklik **Penampil 3D** di tombol alat dekat ujung kanan menu alat atas. Mengklik tombol ini membuka Penampil 3D, dan menyalin struktur saat ini ke modul itu. Cara lain untuk membuka Penampil 3D adalah pergi ke menu **ACD / Labs**, dan pilih **Penampil 3D**. Jika tidak melihat **Penampil 3D** tombol alat, maka perlu menambahkannya ke toolbar. Untuk melakukannya, klik pada simbol aneh di ujung kanan menu alat atas; simbol terlihat seperti tanda hubung dengan panah bawah di bawahnya, maka akan mendapatkan daftar tombol. Di dekat bagian bawah adalah "Penampil 3D". Klik untuk menambahkannya ke menu alat.



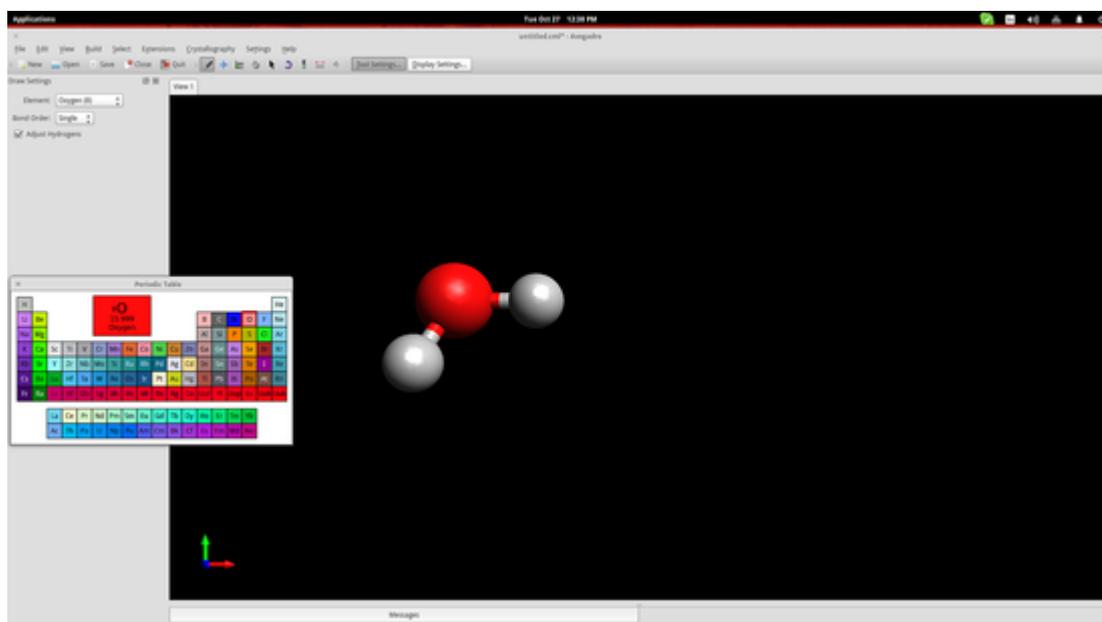
Gambar 4.3. Tangkapan layar dari sudut kiri bawah *ChemSketch* –

Jika tidak melihat tombol-tombol yang dijelaskan di sini, lihat paragraf tepat di atas. Perhatikan tombol **Salin ke 3D** dan **Tampilan 3D**, di atas / kanan tombol Mulai (yang ditunjukkan dalam lokasi default, paling umum, di kiri bawah layar), dan tiga baris di bawah palet default.

Software ketiga yang digunakan adalah *software* Avogadro. Avogadro adalah editor molekul dan visualisator, dan salah satu alat perangkat lunak ilmiah open source paling canggih. Ini fitur banyak kemampuan yang dapat berguna dalam penelitian ketika teori dikombinasikan dengan gambaran aktual dari model realistik. Berikut ini adalah tutorial dasar tentang cara menggunakan Avogadro.

Langkah langkah penggunaan avogadro

Untuk menggambar molekul air. Pertama, klik tombol "Elemen" di sebelah kiri dan pilih opsi "lain" untuk membuka tabel elemen secara berkala. Dari sana dapat mengklik elemen apa saja dan kemudian memasukkannya ke ruang gambar hanya dengan mengklik di titik mana pun.



Gambar 4.4. Tampilan *software* Avogadro

Metode *experimental* digunakan untuk menguji hipotesa. Ada beberapa tahapan pengujian dalam penelitian ini yaitu :

- a. Pengujian karakterisasi material graphite dengan uji SEM –EDX.
- b. Pengujian hambatan listrik material graphite.
- c. Pengujian respon tegangan listrik material graphite ketika dijatuhkan benda padat.
- d. Pengujian respon tegangan listrik material graphite ketika di teteskan air, air garam, dan air laut

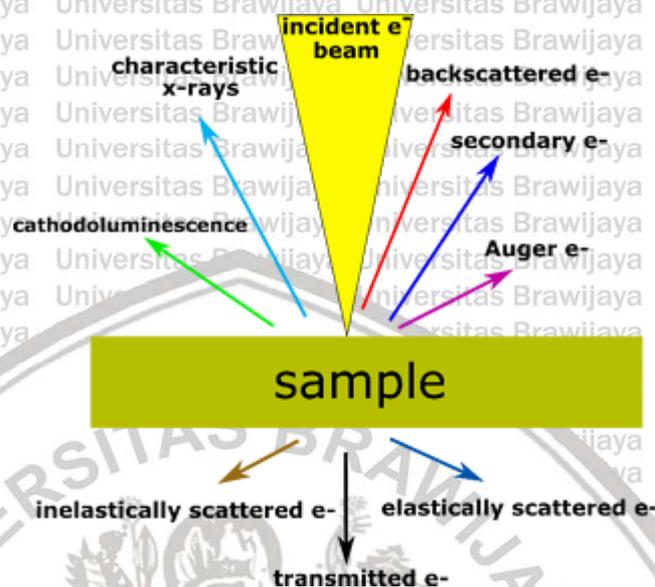
Pada pengujian pertama, material diuji menggunakan SEM-EDX. Material yang diuji antara lain, graphite 8B, graphite 4B, Aluminium, dan Tembaga. SEM sangat berguna untuk mendapatkan gambaran perbesaran dari berbagai jenis material seperti pada gambar 4.2. Perbedaan kontras warna yang terdeteksi mewakili topografi permukaan dan komposisi elemen yang berbeda. Analisis SEM merupakan suatu metode analisis permukaan berupa mikroskop yang menggunakan elektron, bukan cahaya untuk menghasilkan citra.



Gambar 4.5 Pengujian Karakterisasi Material (SEM-EDX)

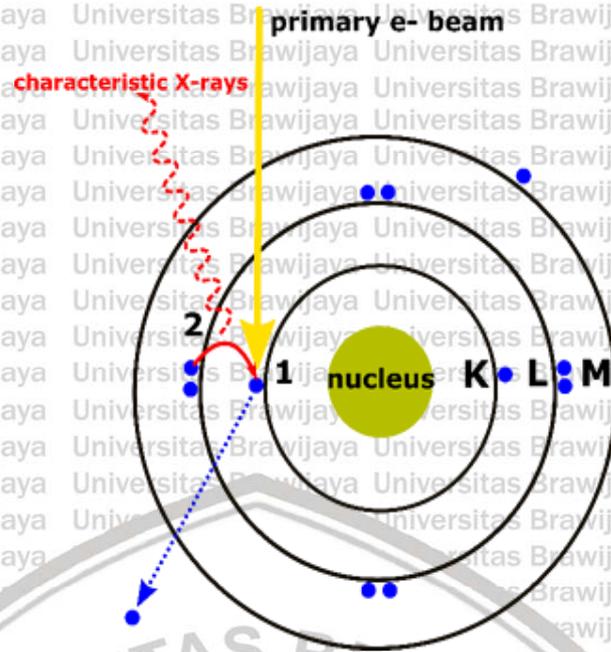
Pancaran elektron dihasilkan dari atas mikroskop oleh pemancar elektron. Elektron dipancarkan vertikal ke bawah melalui medan elektromagnetik yang memfokuskan pancaran menuju sampel. Interaksi elektron menghasilkan berbagai sinyal yang membawa informasi berbeda tentang sampel (Gambar 4.6). Sebagai contoh, elektron-elektron yang terserang-balik menghasilkan gambar dengan kontras yang membawa informasi tentang perbedaan dalam nomor atom; elektron sekunder memberikan informasi topografi. *cathodoluminescence* dapat memberikan informasi tentang struktur elektronik dan komposisi bahan kimia; dan elektron yang ditransmisikan dapat menggambarkan struktur

bagian dalam sampel dan kristalografi. Jenis sinyal lain yang banyak digunakan dalam SEM adalah sinar-X.



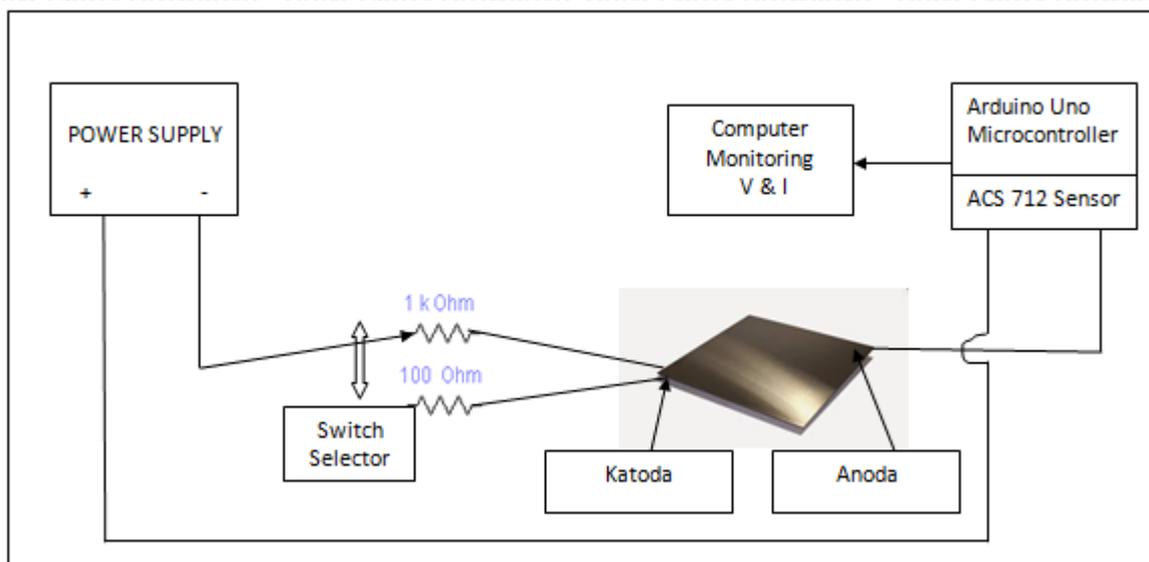
Gambar 4.6 Ilustrasi Interaksi Elektron.

Setiap atom memiliki jumlah elektron unik yang berada di bawah kondisi normal di posisi tertentu, Posisi ini milik cangkang tertentu, yang memiliki energi diskrit yang berbeda. Generasi sinar-X dalam SEM adalah proses dua langkah. Pada **langkah pertama**, berkas elektron menyentuh sampel dan mentransfer sebagian energinya ke atom-atom sampel. Energi ini dapat digunakan oleh elektron-atom atom untuk "melompat" ke kulit yang berenergi lebih tinggi atau terlempar keluar dari atom. Jika transisi seperti itu terjadi, elektron meninggalkan lubang. Lubang memiliki muatan positif dan, pada **langkah kedua** proses, menarik elektron bermuatan negatif dari cangkang berenergi lebih tinggi. Ketika sebuah elektron dari cangkang berenergi lebih tinggi mengisi lubang cangkang berenergi lebih rendah, perbedaan energi dari transisi ini dapat dilepaskan dalam bentuk **sinar-X**. Sinar-X ini memiliki energi yang menjadi ciri perbedaan energi antara kedua cangkang ini. Itu tergantung pada nomor atom, yang merupakan properti unik dari setiap elemen. Dengan cara ini, sinar-X adalah "*sidik jari*" dari setiap elemen dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis elemen yang ada dalam sampel.

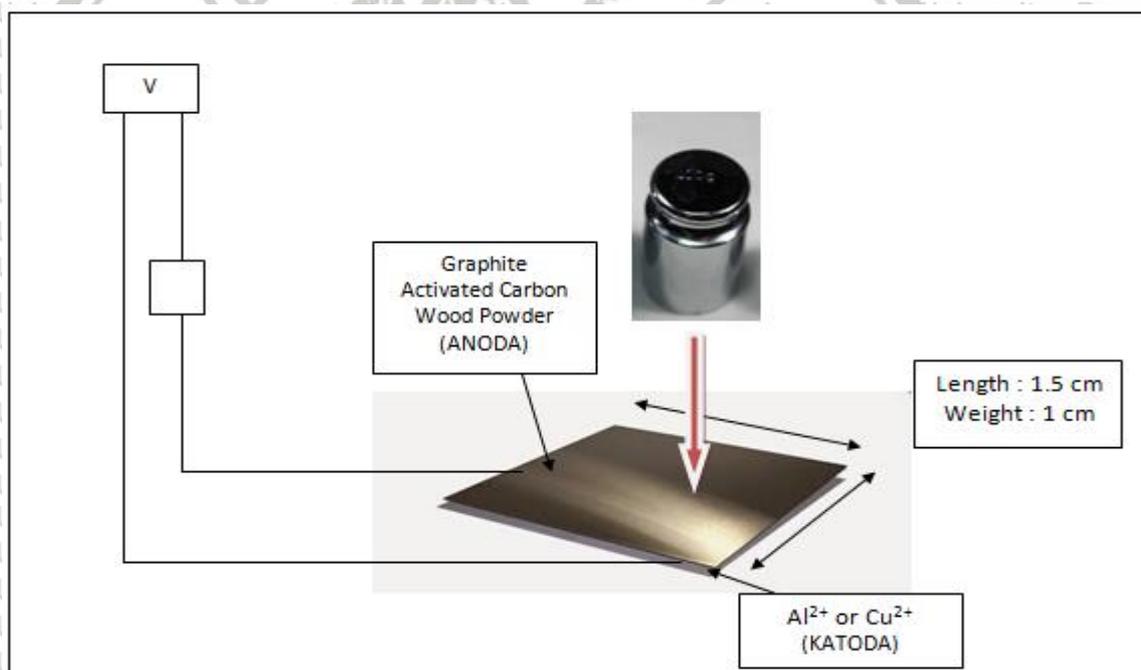


Gambar 4.7 Energi yang ditransfer ke elektron atom

Pada pengujian kedua, masing masing elektroda (Graphite 4b, Graphite 8B, Tembaga) di uji sesuai dengan gambar 4.7. Tegangan Power Supply sebesar 10 volt, dan material elektroda terhubung seri dengan hambatan 100 ohm dan 1000 ohm. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur nilai arus dan hambatan pada graphite 4B, graphite 8B, Tembaga. Nilai arus yang terukur bertujuan untuk membuktikan konduktifitas listrik pada masing masing material elektroda.



Gambar 4.8 Pengukuran Hambatan *Graphite*



Gambar 4.9 Pengujian Piezoelektrik

Hasil pengujian di laboratorium akan dibandingkan dengan software EWB untuk membuktikan teori hukum ohm terdapat hasil pengukuran. Pada pengujian ketiga adalah material graphite yang dijatuhkan benda padat, setelah itu mengukur tegangan yang dihasilkan sesuai gambar 4.9. Pada pengujian ini bertujuan untuk mengukur sensitifitas

elektron pada elektroda sebagai piezoelektrik. Cara pengujianya, elektroda dijatuhkan beban dengan berat bervariasi dengan jarak 30 cm, kemudian mengukur dengan yang dihasilkan ketika masing-masing elektroda dijatuhkan benda padat. Benda padat yang dijatuhkan memiliki massa yang berbeda-beda.

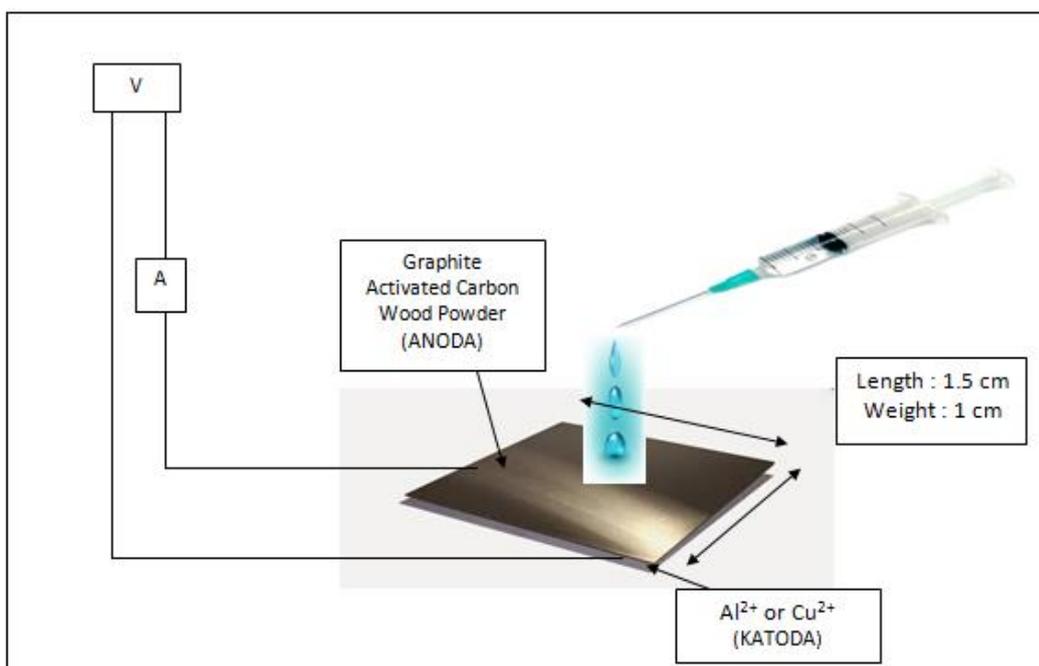


Gambar 4.10 Pengukuran Respon Tegangan Piezoelektrik

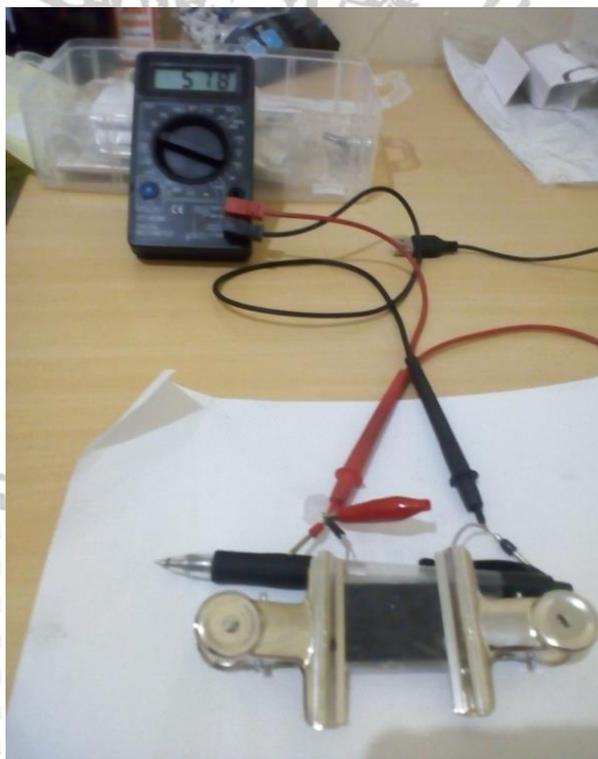
Pada pengujian ketiga dalam penelitian ini memiliki enam sampel, yaitu

- a. GAL (Graphite –Alumunium)
- b. GCU (Graphite – Tembaga)
- c. ACAL (Karbon Aktif –Alumunium)
- d. ACCU (Karbon Aktif – Tembaga)
- e. WPAL (Serbuk Kayu – Alumunium)
- f. WPCU (Serbuk Kayu- Tembaga)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik graphite ketika berinteraksi dengan air laut. Dalam pengujianya dilakukan seperti gambar 4.6 dan mengukur respon tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing elektroda.



Gambar 4.11 Proses Pengujian Interaksi Air Laut dengan Elektroda



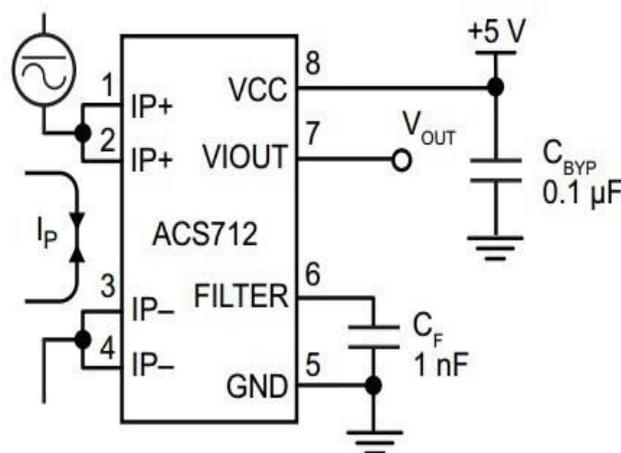
Gambar 4.12 Proses Pengamatan Interaksi Air Laut dengan Elektroda

4.2 Perancangan alat

4.2.1 Sensor arus ACS712

ACS712A adalah sensor arus berbasis efek hall. Itu dapat mengukur arus searah. Sensor ini memiliki tipe linear. Ini adalah sirkuit terintegrasi yang sangat terkenal yang dirancang oleh Allegro. Ini memiliki fitur pembatalan kebisingan, waktu respons sangat tinggi. Kesalahan output sekitar 1,5 persen tetapi dapat diatasi dengan beberapa pemrograman dan mengalikan nilai yang diukur dengan kesalahan standar sensor. Jika Anda memberikan arus dc ke inputnya, itu akan memberikan tegangan dc proporsional pada output sensor dan jika Anda memberikan arus ac pada input ACS712, itu akan memberi Anda tegangan ac proporsional pada output. Istilah proporsional tergantung pada sensitivitas output sensor.

Sensor ACS712 ini terdiri dari sirkuit efek hall linear bersama dengan jalur konduksi tembaga. Jalur konduksi tembaga terletak di sekitar permukaan die. Ketika arus AC atau DC melewati jalur konduksi tembaga, itu menghasilkan medan magnet. Medan elektromagnetik ini berinteraksi dengan sensor efek hall. Sirkuit efek hall mengubah elektromagnetik ini menjadi tegangan proporsional baik ac atau dc tergantung pada tipe arus input. Tegangan keluaran ini diukur dengan bantuan Arduino atau mikrokontroler apa pun. Pin keluar dari sensor arus ACS712 diberikan di bawah ini. Pin nomor 1, 2 dan 3, 4 digunakan untuk pengambilan sampel saat ini.



Gambar 4.13 Konfigurasi pin Sensor Arus

Nomor pin adalah koneksi ground catu daya 5 volt dan pin nomor 6 digunakan untuk menghubungkan kapasitor filter. Satu terminal kapasitor filter harus dihubungkan

dengan pin nomor 6 dan terminal lainnya harus dihubungkan dengan ground. Demikian pula pin nomor 8 vcc adalah pin catu daya dan harus menghubungkan dc 5 volt dengan itu.

Pin nomor 7 adalah pin output sensor arus acs712.

4.3 Variabel Penelitian

4.3.1 Variabel yang bebas

- Variabel massa material (gram, mL)

4.2.2 Variabel yang terikat

- Respon tegangan yang dihasilkan (mV).
- Respon arus yang dihasilkan (nA)

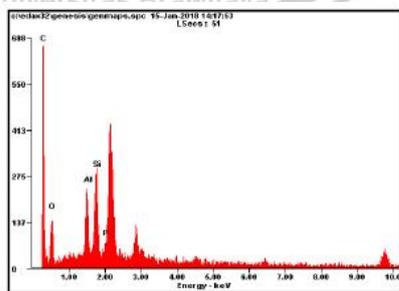
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



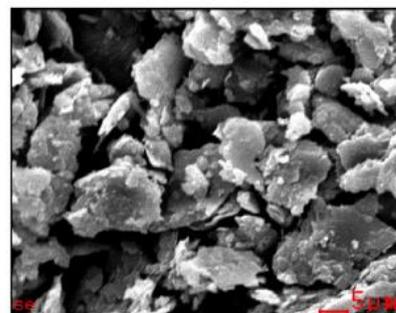
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Material

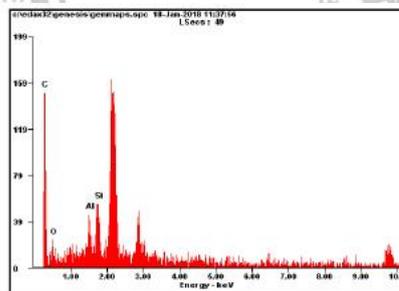
Dalam penelitian ini terdapat beberapa sampel antara lain: graphite 4B, graphite 8B, karbon aktif, serbuk kayu, aluminium. Sampel tersebut di uji dengan menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui bentuk morfologi sampel dan mengetahui unsur kimia yang terkandung pada masing - masing sampel pada gambar 5. Berikut hasil uji SEM-EDX dari sampel tersebut.



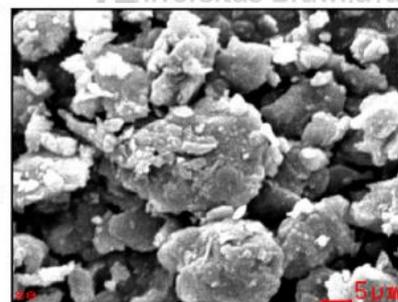
Element	Wt%	At%
CK	67.60	77.44
OK	18.11	15.58
AlK	04.99	02.55
SiK	06.73	03.30
PK	02.56	01.14
Matrix	Correction	ZAF



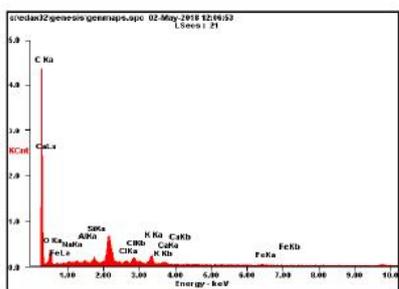
(a)



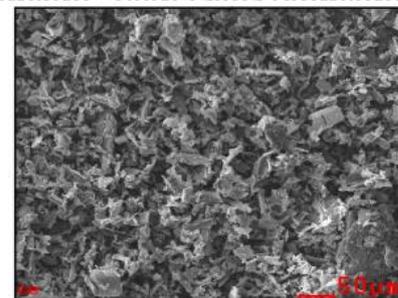
Element	Wt%	At%
CK	75.20	83.05
OK	14.47	12.00
AlK	03.79	01.86
SiK	06.54	03.09
Matrix	Correction	ZAF



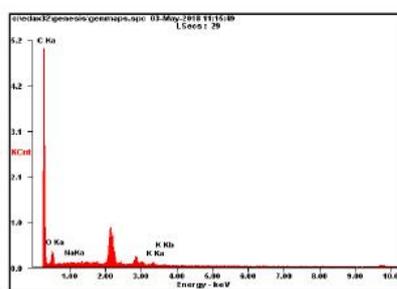
(b)



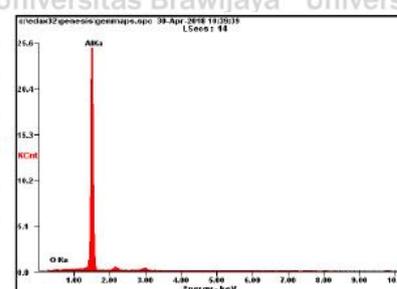
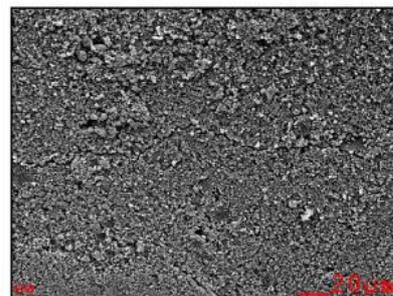
Element	Wt%	At%
CK	65.34	76.45
OK	21.10	18.54
NaK	00.68	00.42
AlK	00.33	00.17
SiK	01.19	00.59
ClK	01.22	00.48
KK	05.79	02.08
CaK	01.70	00.60
FeK	02.64	00.66
Matrix	Correction	ZAF



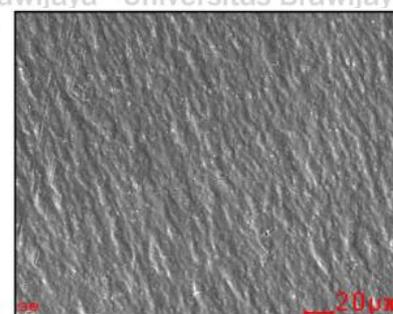
(c)



Element	Wt%	At%
CK	82.08	86.58
OK	16.00	12.67
NaK	00.57	00.31
KK	01.36	00.44
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
OK	00.99	01.66
AlK	99.01	98.34
Matrix	Correction	ZAF

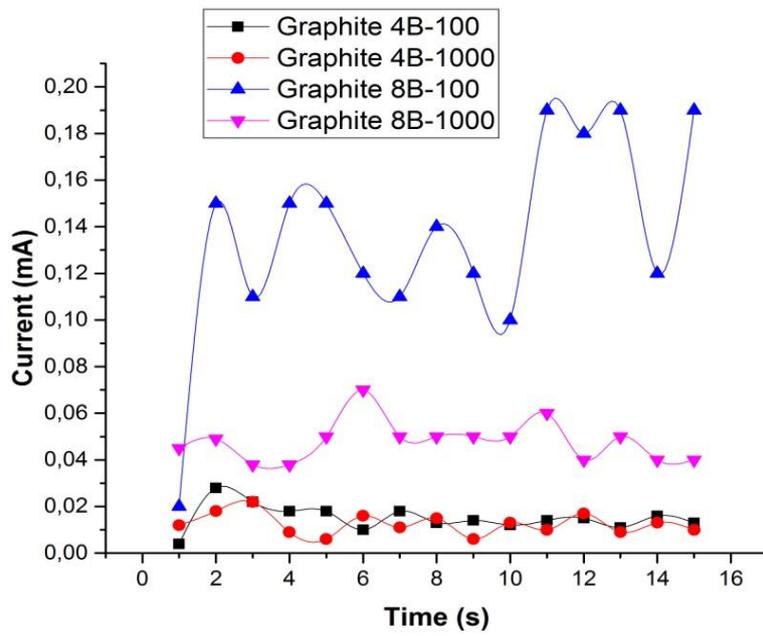
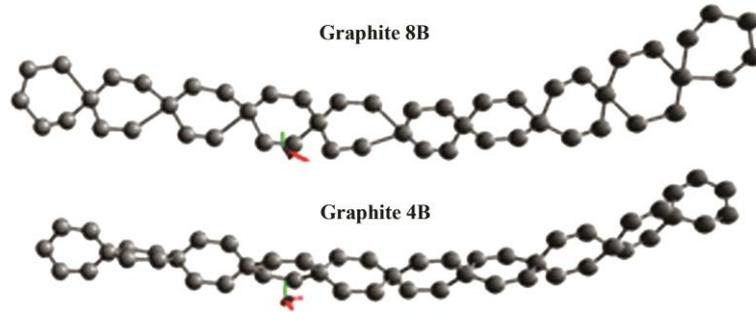


(e)

Gambar 5. Pengujian SEM-EDX (a) Graphite 4B, (b) Graphite 8B, (c) Karbon Aktif, (d) Serbuk Kayu, (e) Aluminium

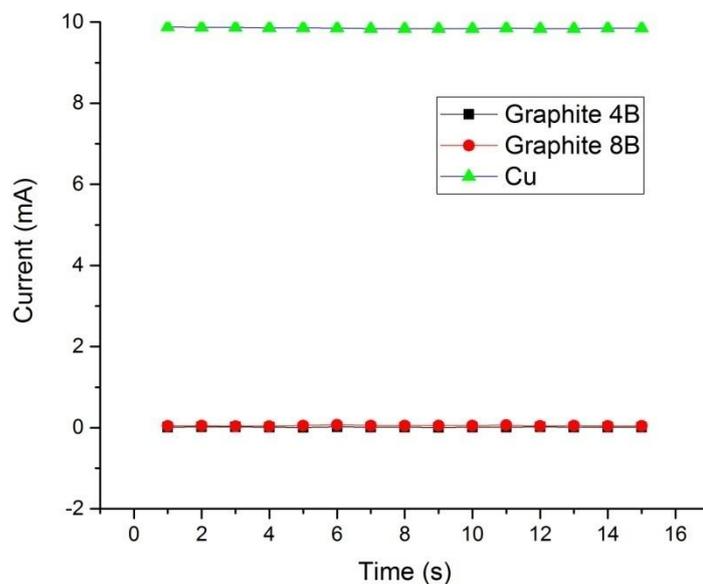
5.2 Graphite merupakan Material Semikonduktor

Grafit merupakan unsur karbon yang memiliki elektron valensi empat. Grafit berbentuk trigonal planar dengan satu elektron yang bebas bergerak, sehingga mudah berikatan dengan unsur lain. Karbon memiliki nilai ke elektronegatifan 2,55, radius atom 0,76, potensial ionisasi 1086 kJ/mol dan afinitas elektron 122,3 kJ/mol. Sedangkan tembaga merupakan unsur yang memiliki satu elektron, memiliki keelektronegatifan 1,9, radius atom 1,30, potensial ionisasi 745 kJ/mol, dan afinitas elektron 118,3 kJ/mol. Dari struktur data diatas menunjukkan adanya perbedaan jarak antara inti atom dengan elektron. Grafit terdiri dari dua kulit valensi sehingga memiliki gaya tarik menarik yang lebih kuat dibandingkan dengan unsur tembaga, karena tembaga terdiri dari tiga kulit dan memiliki satu elektron bebas yang bersifat positif. Energi potensial ionisasi grafit lebih besar dari tembaga. Hal ini mengakibatkan gaya tarik menarik lebih kuat dari tembaga sehingga ketika material tersebut diberi energi dari luar maka elektron tembaga yang mudah lepas.

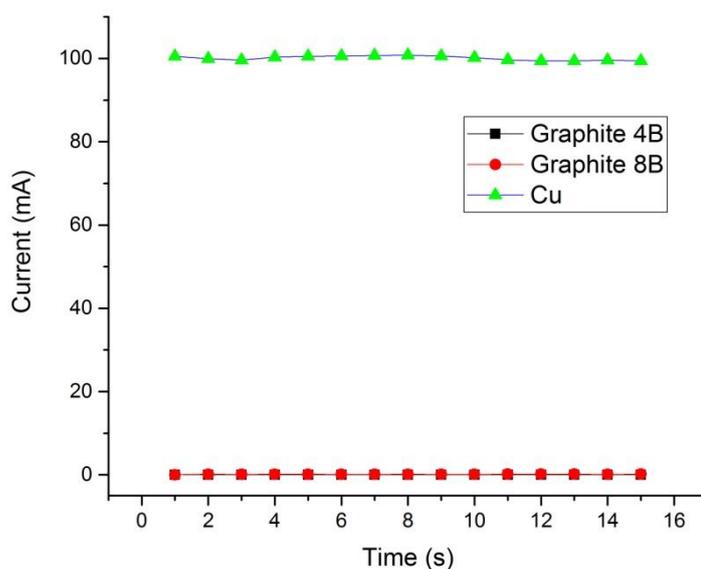


(a)





(b)



(c)

Gambar 6 (a) Perbandingan Konduktifitas Graphite (b) Perbandingan Konduktifitas dengan beban 1000 ohm (c) Perbandingan Konduktifitas dengan beban 100 ohm

Gambar 6b,6c menunjukkan karakteristik material grafit dan tembaga. Metode pengukuran grafit dan tembaga diberikan variasi hambatan bantu 100 ohm dan 1000 ohm dengan tegangan Power Supply 10 volt, maka arus yang terukur pada tembaga sebesar 100 mA (Gambar 6c) dan 10 mA (Gambar 6b), serta memiliki respon grafik yang konstan, Hal

ini dipengaruhi oleh elektron elektron pada tembaga mudah lepas karena radius atom yang besar dan energi potensial ionisasi tembaga kecil. Nilai yang terukur pada [Gambar 6b dan 6c](#) membuktikan grafit dan tembaga memiliki hambatan listrik, semakin kecil hambatan listrik pada material mempengaruhi kecepatan aliran elektron. Dengan menggunakan hukum Ohm menunjukkan tembaga merupakan elektroda konduktor memiliki hambatan rata-rata 1,1 ohm. Material Grafit memiliki hambatan rata-rata 2 Mega Ohm dan merupakan elektroda semikonduktor.

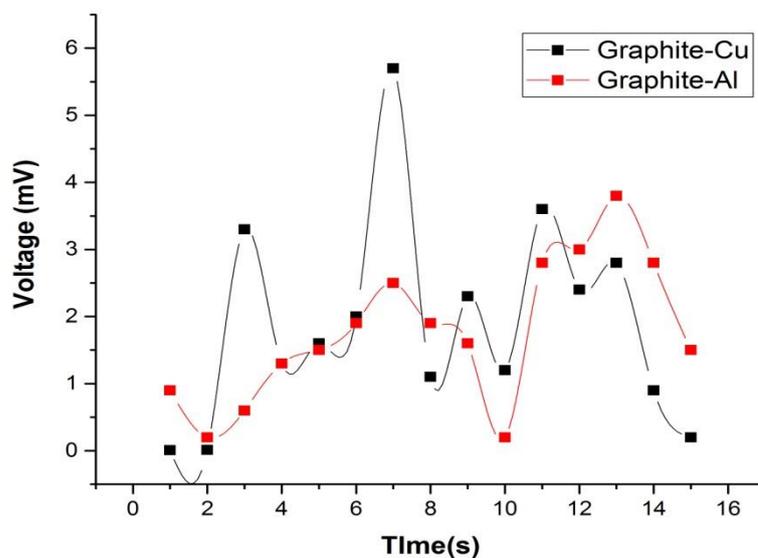
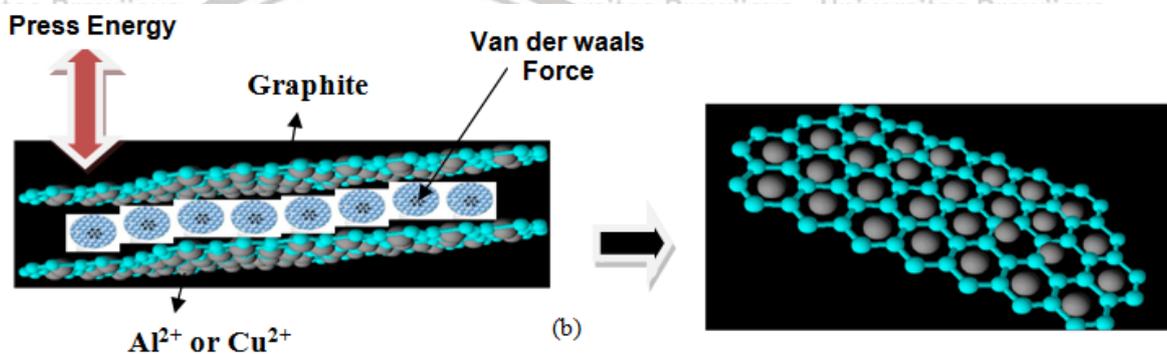
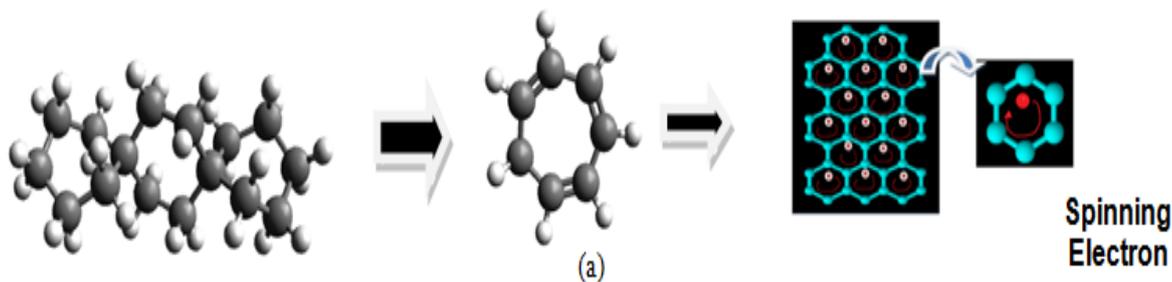
Sedangkan [Gambar 6a](#) menunjukkan tingkat konduktifitas grafit dengan memberikan variasi hambatan bantu 1000 ohm dan 100 ohm dengan tegangan power supply 10 volt. Jenis grafit yang diuji memiliki ukuran yang berbeda yaitu grafit 8B, 4B. Ketika kedua material tersebut diukur dengan hambatan bantu 100 ohm memiliki tingkat konduktifitas antara (0,1 mA – 0,2mA) lebih tinggi dari pada Grafit 4B antara (0,01 mA – 0,02 mA). [Gambar 6a](#) menunjukkan respon arus yang mengalir memiliki trend naik dan turun (tidak stabil). Hal ini disebabkan grafit memiliki sifat semikonduktor, sehingga elektron elektron grafit memiliki jarak yang rapat dan gaya tarik menarik yang kuat. Akan tetapi elektron-elektron grafit mudah rapuh dan lepas ketika diberi energi luar.

5.3 Graphite merupakan Piezoelectrik

Grafit merupakan unsur karbon berbentuk tetrahedral. Dalam unsur tersebut terdapat elektron yang berputar karena mengalami gaya tolak menolak antar elektron. [Gambar 7a](#) menunjukkan ketika elektron dalam unsur grafit berputar dengan kecepatan tertentu dapat menghasilkan gaya magnet. Hal ini yang dinamakan decolized elektron. Besarnya gaya medan magnet dipengaruhi oleh jarak antar elektron, dan kecepatan berputar.

Grafit merupakan unsur karbon, atom karbon mengikat tiga atom karbon lainnya dan atom karbon diatur dengan bentuk berlapis dan ikatan keempat tiap atom karbon berfungsi untuk menghubungkan lapisan tersebut. Ikatan ini sangat panjang dan elektron dapat bergerak bebas sepanjang struktur bidang. Namun pergerakan elektron ini terbatas pada satu bidang saja, sehingga grafit dapat menghantarkan arus listrik. Grafit dapat berinteraksi dengan unsur yang lain, yaitu tembaga dan aluminium. Tembaga mempunyai ion positif dan memiliki tingkat konduksi yang tinggi. Ketika material grafit dan tembaga ditempatkan secara sejajar (elektroda) dan diberi energi tekan dengan frekuensi yang sama ([gambar 7b](#)) maka ada gaya induksi tolak menolak antar molekul karena antara grafit, tembaga, aluminium, memiliki ion positif sehingga terjadi gaya van

der waals dan gaya dipol terinduksi. Efek tersebut menghasilkan energi listrik. (piezoelectric).



Gambar 7 (a) Delocalized Electron (b) Piezoelectric (c) Respon Tegangan

Gambar.7b menunjukkan elektroda grafit/tembaga dan grafit/ alumunium diberi energi tekan dan frekuensi yang sama, tetapi besarnya gaya tolak menolak yang terjadi pada masing –masing elektroda berbeda sehingga menyebabkan respon tegangan listrik grafit/tembaga lebih besar dari grafit alumunium.

Gambar 7c menunjukan material grafit/alumunium memiliki respon tegangan yang kecil (2 mV- 4mV) di bandingkan material grafit tembaga (3mV-6mV). Pengujian ini dilakukan dengan cara menekan lapisan material secara berulang –ulang (piezoelektrik).

Respon tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh gaya tekan. Pada range waktu 2- 4 sekon respon tegangan Graphite-Cu sangat dominan 3,5 mV dan sangat sensitif bila dibandingkan dengan Graphite - Al sekitar 1,2 mV. Faktor pertama saat ditinjau dari struktur atom, unsur tembaga memiliki empat kulit valensi dan satu elektron valensi, energi yang dibutuhkan untuk melepas elektron terluar sangat kecil. Sedangkan alumunium memiliki tiga kulit valensi dan memiliki tiga elektron valensi. Untuk melepaskan elektron kulit terluar membutuhkan energi lebih besar daripada alumunium. Oleh karena itu, elektron grafit bermuatan positif dan elektron tembaga bermuatan positif dan dalam kedudukan simetris dengan saling mendekati maka terjadi gaya gesek dan gaya tolak menolak sehingga muncul induksi listrik sesaat antara dua material (**Gambar 7c**) tersebut.

Kedua, berdasarkan teori medan magnet, bahwa elektron yang memiliki muatan yang sama akan tolak menolak dan elektron yang memiliki muatan yang berbeda akan saling tarik menarik sehingga atom grafit dan tembaga tidak membentuk senyawa tertentu.

5.4 Interaksi Graphite dan Air Laut sebagai *Electric Generator*

Air laut merupakan larutan elektrolit, dan memiliki berbagai macam senyawa kimia.

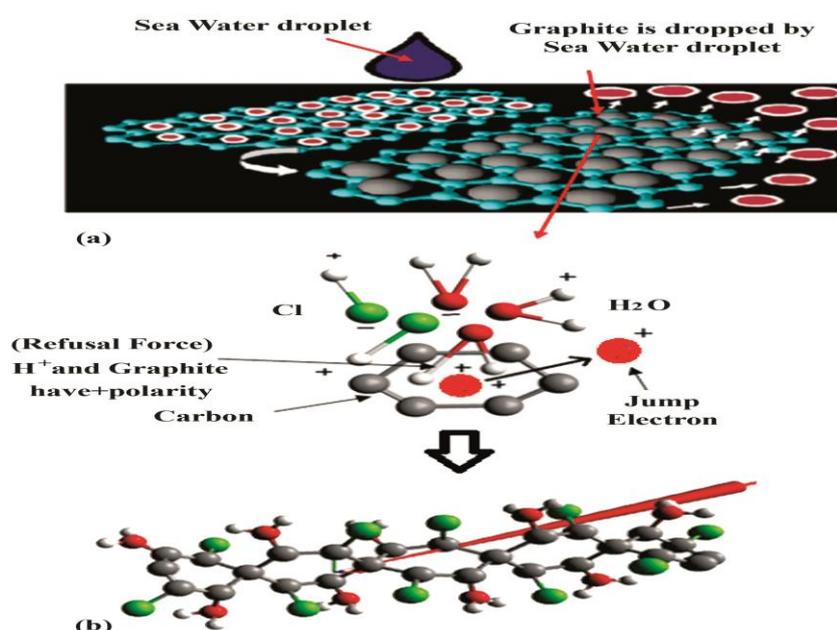
Hasil pengujian laboratorium kimia universitas brawijaya sesuai pada tabel 5.1

Tabel 5.1. Unsur Kimia dalam Air Laut

No	Unsur	Hasil Analisis	Metode Analisis	
		(Mg/L)	Pereaksi	Metode
1	Na	14.32+-001	HNO ₃	AAS
2	Mg	0.65 +-0.00	HNO ₃	AAS
3	Cl	8.88 +-0.00	AgNO ₃	Argentometri
4	SO ₄ ²⁻	1000+-0.00	Hcl-BaCl ₂	spektrometri
5	K	322.1 +-0.03	HNO ₃	AAS
6	Ca	57.45 +- 0.04	HNO ₃	AAS

Ketika elektron grafit di tetesi air laut maka elektron yang berputar dalam grafit akan lompat dan membentuk ikatan baru pada unsur air laut. Ikatan baru akan terbentuk karena

elektron dalam molekul yang memiliki polaritas sama akan saling tolak menolak, sedangkan elektron yang polaritas berbeda akan tarik menarik (Gambar 8a). Gambar 8b menunjukkan bahwa air laut memiliki unsur yang paling dominan adalah SO_4^{2-} sebesar 1001 Mg/L, K sebesar 322 Mg/L, Ca sebesar 57,5 Mg/L. Sedangkan unsur yang paling sedikit adalah Na sebesar 14,3 Mg/L, Cl sebesar 8,8 Mg/L dan Mg sebesar 0,6 Mg/L. Pada pengujian ini terdapat elektroda Grafit/ Tembaga dan Grafit /Alumunium. Berdasarkan Teori Semikonduktor, elektron yang lepas dari ikatan akan menjauhi *hole* yang memiliki muatan positif dan menjadi elektron bebas yang memiliki muatan negative.

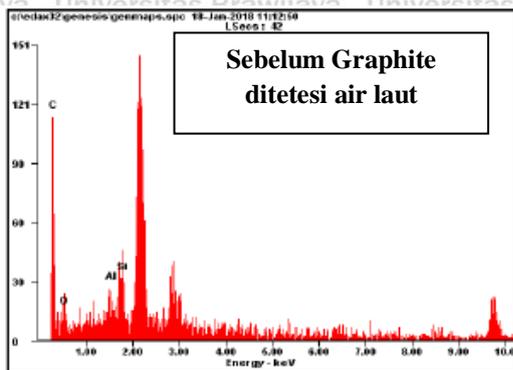


Gambar 8 (a)Interaksi Atom air laut (b) Gaya Ikat Atom air laut

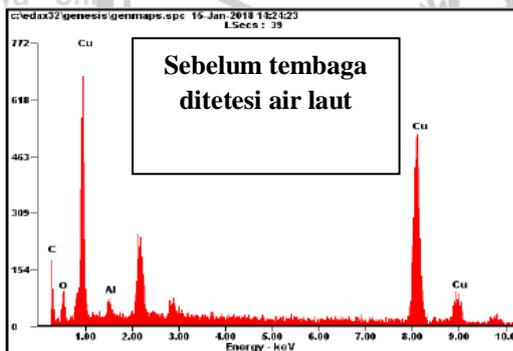
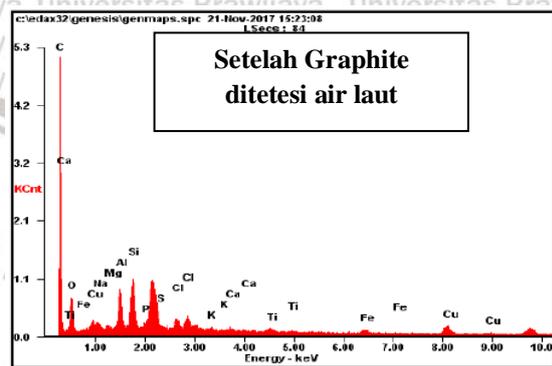
Saat air laut diteteskan pada elektroda grafit/ tembaga atau grafit / alumunium menyebabkan ikatan kovalen non polar. Gambar 8b ikatan kovalen nonpolar terjadi ketika dua atom yang terikat sama. Atom Grafit yang memiliki positif akan menarik elektron Cl, OH karena memiliki muatan negatif, sedangkan atom unsur lainnya yang bermuatan positif Mg, Ca, Cu, Na akan membentuk ikatan baru melalui reaksi redoks.

Gambar 8b menunjukkan ikatan rangkap pada grafit merupakan ikatan antar atom yang terjadi pada senyawa karbon sehingga terjadi delokalisasi elektron. Ketika air laut berinteraksi dengan unsur grafit, maka unsur H₂O akan mengganggu elektron bebas pada grafit, ikatan C-C dan C-O akan terganggu dan mempengaruhi tingkat kestabilan atom

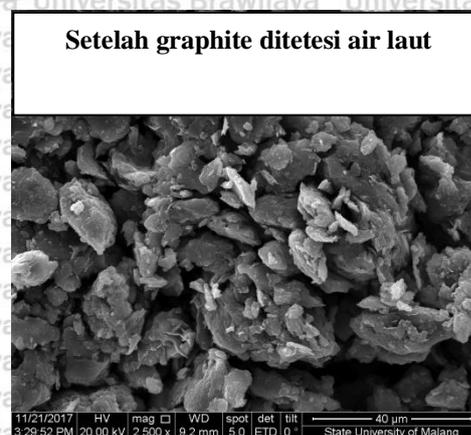
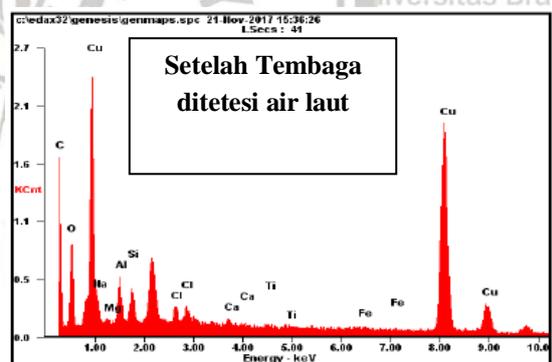
C-O yang kuat karena atom O akan melepaskan elektron kepada atom C sehingga afinitas dan keelektronegatifan antar atom menjadi kuat sehingga terjadi lompatan elektron. Elektron yang melompat tersebut di tangkap oleh unsur air laut . Mg merupakan unsur yang terkandung pada air laut. Selanjutnya Unsur Grafit dan Cl akan membentuk ikatan kovalen yang memiliki polaritas berbeda. Hal ini akan meningkatkan stabilitas dan jumlah elektron yang melompat. Semakin banyak jumlah elektron yang melompat menyebabkan tegangan listrik semakin meningkat.

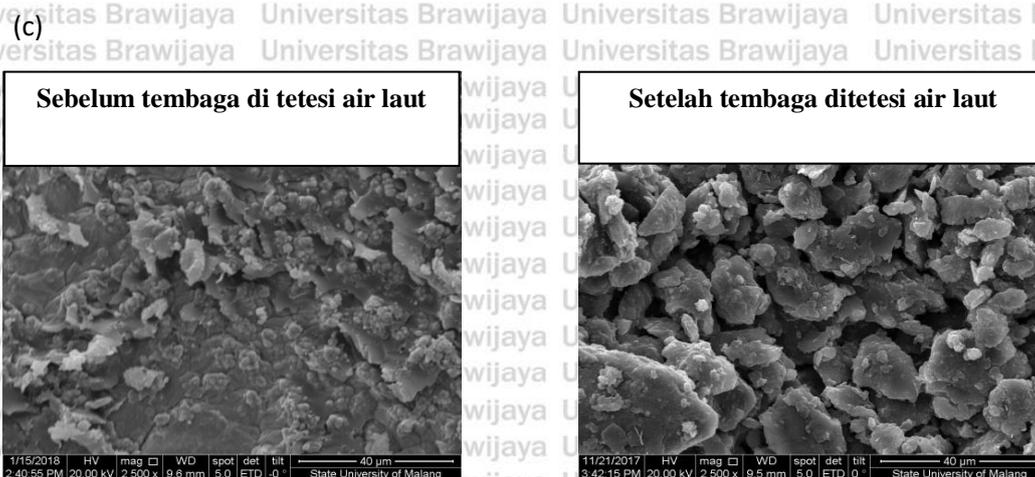


(a)



(b)

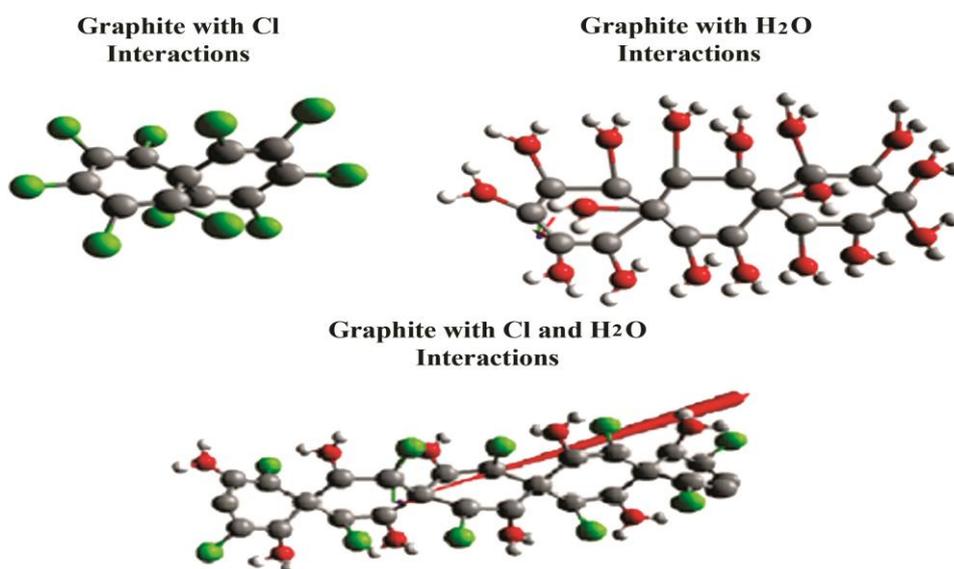


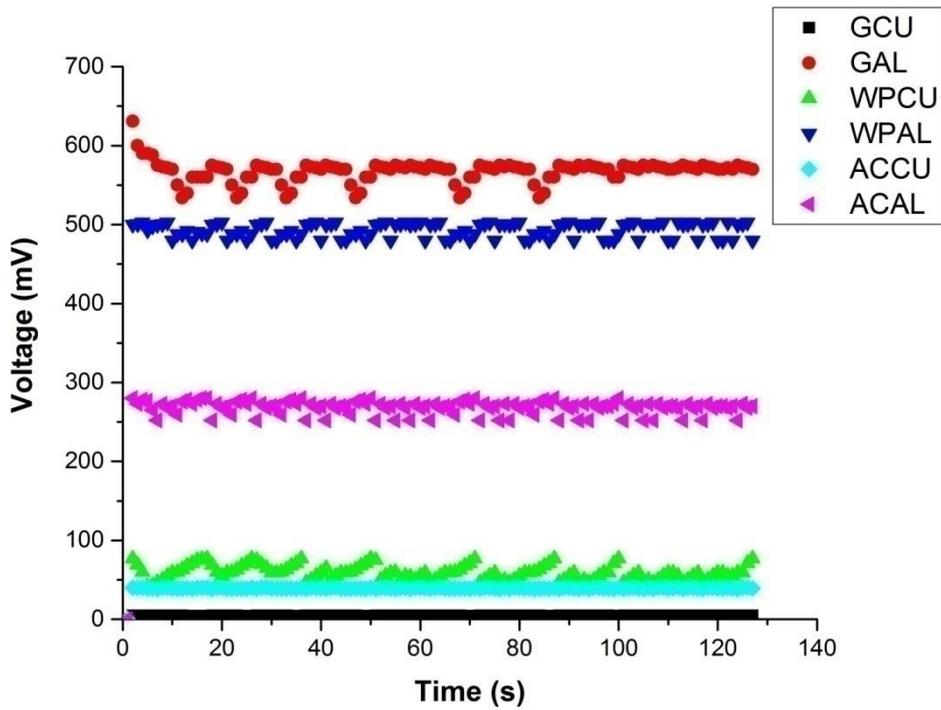


(d)

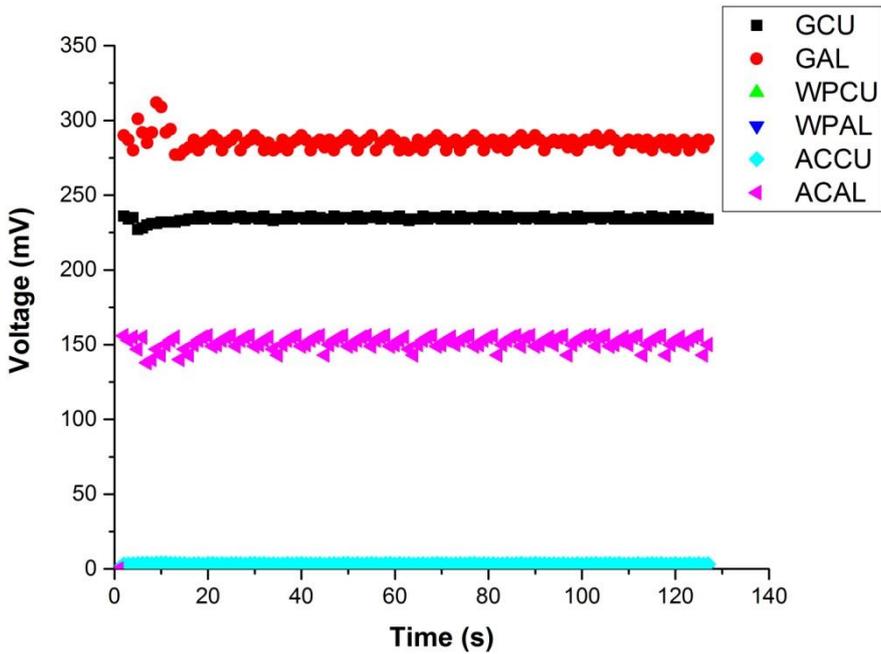
Gambar 9 Pengujian SEM EDX Pada Graphite dan Cu

Gambar 9 merupakan hasil pengujian SEM –EDX, gambar tersebut menunjukkan bahwa unsur Mg dan Ca merupakan unsur yang dominan dapat berikatan dengan grafit, sedangkan unsur Na dan Cl memiliki nilai standar. Hal ini menunjukkan ada reaksi redoks dan gaya ikat molekul.

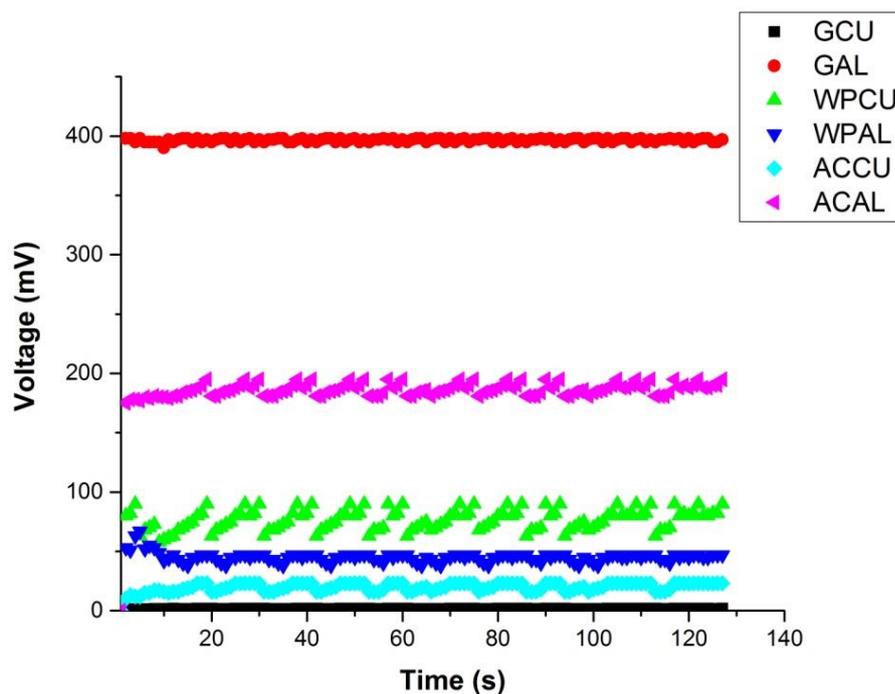




(a) Elektroda ditetaskan Air Laut



(b) Elektroda ditetaskan Air



(c) Elektroda ditetaskan Air Garam

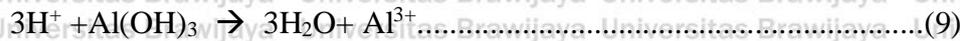
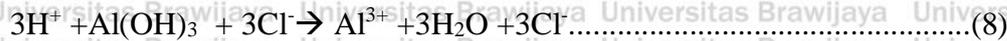
Gambar 10. Respon Tegangan

Gambar 10b dan 10a menunjukkan respon tegangan dari berbagai elektroda ketika berinteraksi dengan air laut. GAL, WPAL, dan ACAL mampu menghasilkan tegangan 580 mV, 490 mV, dan 270 mV, dan gambar 8a menunjukkan masing-masing arus 75 nA, 62 nA, dan 35 nA. Di sisi lain GCU, WPCU, dan ACCU hanya mampu menghasilkan tegangan 5 mV, 55 mV, dan 39 mV, dan gambar 10a menunjukkan masing-masing arus 0,63 nA, 5,9 nA, dan 4,2 x nA. Ini menunjukkan bahwa dengan air laut, elektroda komposit Al meningkatkan tegangan hampir 10 kali lebih tinggi dari Cu karena aluminium bereaksi dengan senyawa yang terkandung dalam air laut, asam klorida (HCl) dan juga dengan senyawa OH⁻ menjadi hidroksida Al(OH)₃. Ion aluminium positif akan menarik ion klorida negatif (Cl⁻). Pergerakan elektron yang saling berkolaborasi menyebabkan listrik sehingga elektroda komposit berbasis aluminium dan air laut menjadi generator listrik yang baik.

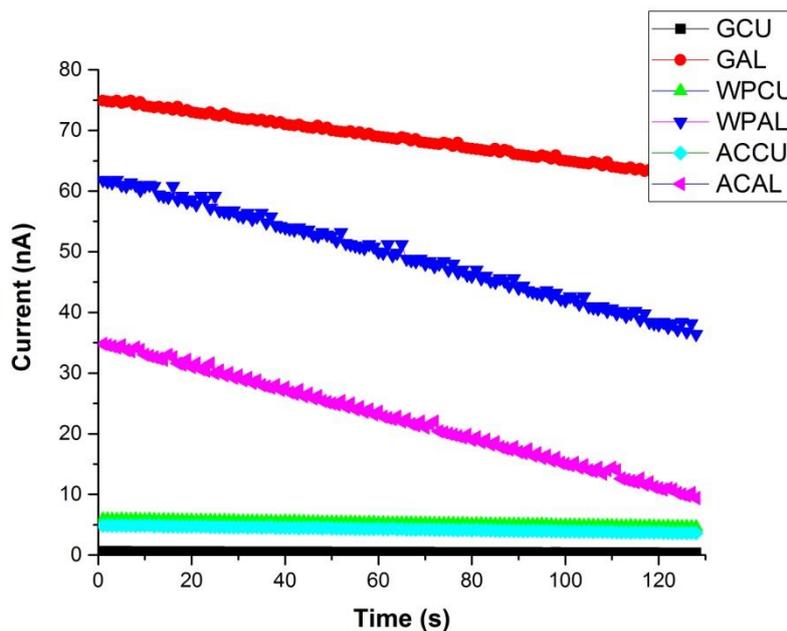
Al bereaksi dengan hidroksida ketika berinteraksi dengan air laut yang mengandung Cl sebagai persamaan berikut.



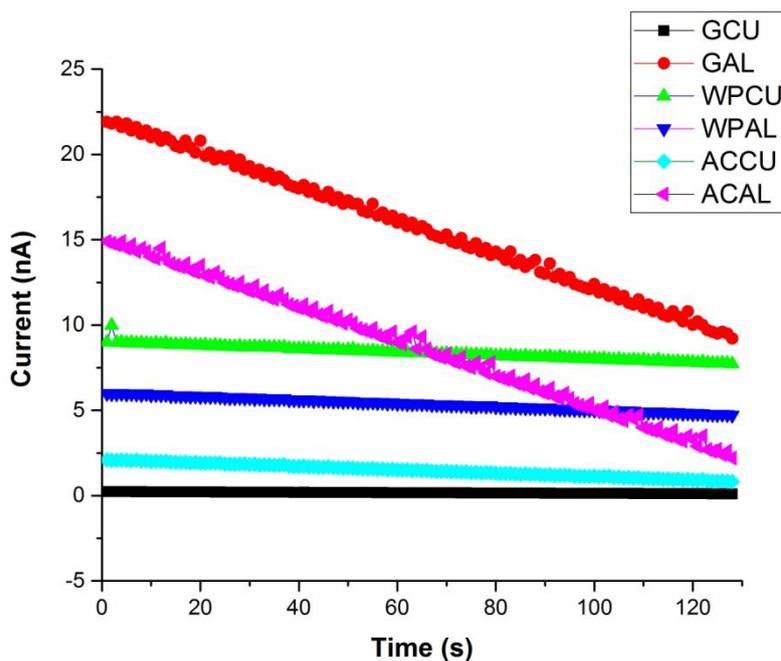
Total reaksi ion (7) adalah



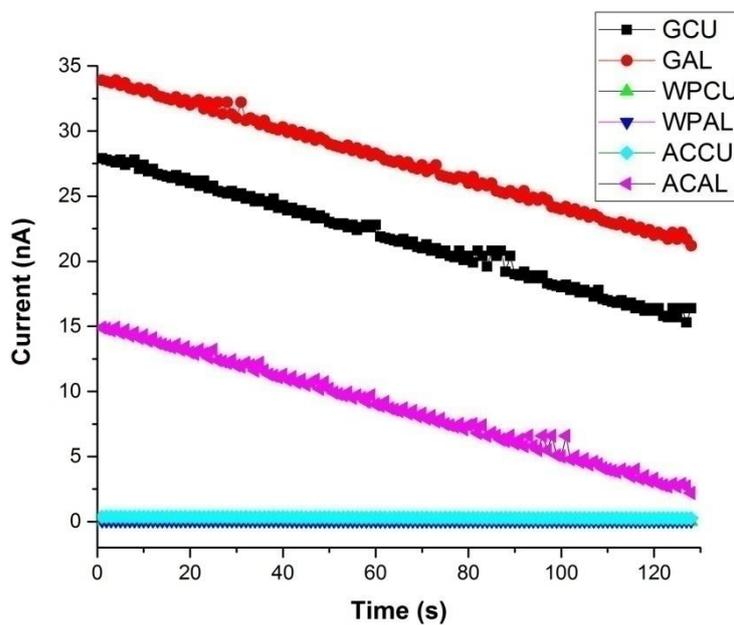
Persamaan (7), (8), (9) menjelaskan bahwa ketika elektroda GAL berinteraksi dengan air laut, aluminium dapat bereaksi dengan unsur-unsur dalam air laut. Elemen H₂O terpisah ketika berinteraksi dengan grafit, dan mengikat elemen OH, sehingga Al bereaksi dengan Cl melepaskan H. Reaksi ini menyebabkan grafit / aluminium menghasilkan lompatan elektron. Tembaga di sisi lain tidak bereaksi dengan unsur Cl dalam air laut, karena tingkat reaktivitasnya berbeda. Grafit memiliki tegangan lebih tinggi dari bubuk kayu dan karbon aktif. Itu tergantung pada jumlah Cl yang bereaksi dengan. SEM EDX menunjukkan grafit mengandung Cl lebih tinggi (2,08% wp) daripada karbon aktif (1,07% wp) dan serbuk kayu (0,66% wp)



(a) Elektroda ditetaskan Air Laut



(b) Elektroda ditetaskan Air



(c) Elektroda ditetaskan Air garam

Gambar 11. Respon Arus Listrik

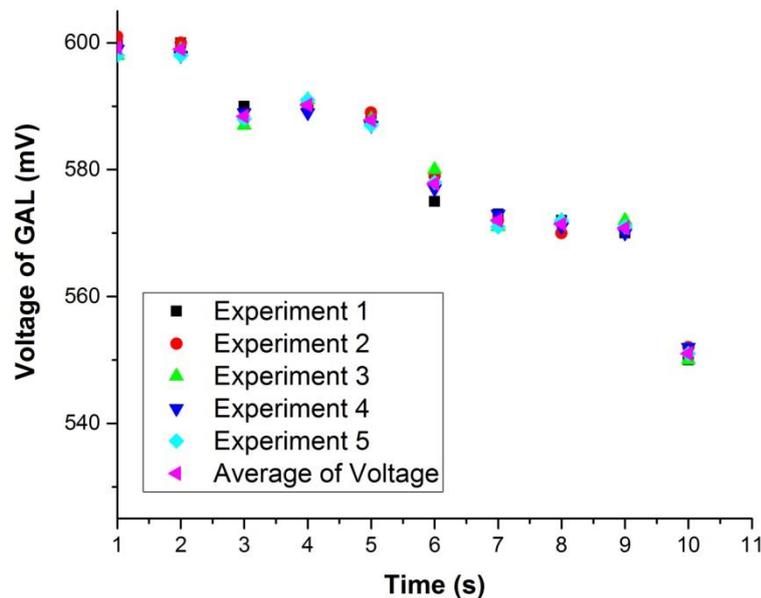
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11b ketika elektroda ditetaskan dengan air (H_2O), GAL, WPAL, ACAL mampu menghasilkan arus 34,1 nA, 0,0761 nA, 15,1 nA,

tetapi GCU, WPCU, dan ACCU hanya mampu menghasilkan arus 28 nA, 0,013 nA, 0,37nA. **Gambar 11b** menunjukkan bahwa GAL dan ACAL menghasilkan tegangan masing-masing 300 mV dan 138 mV, yang merupakan setengah dari yang ada di air laut.

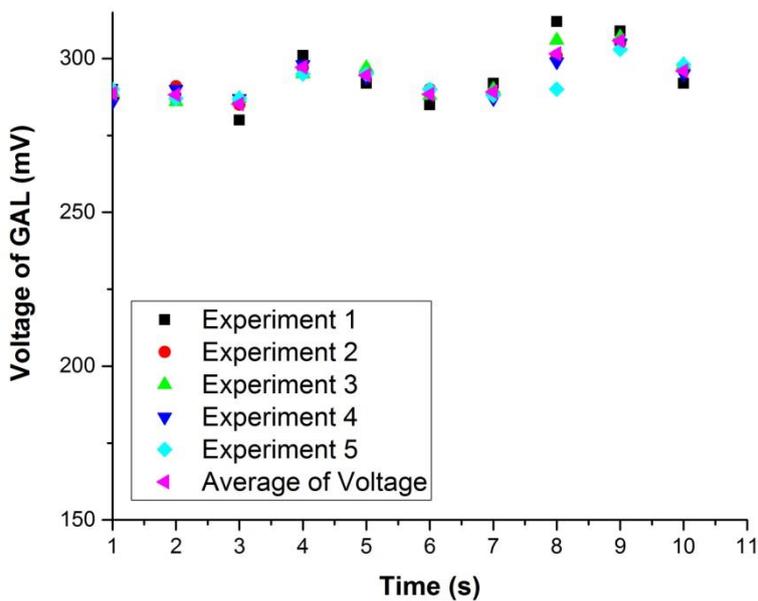
Tetapi tegangan yang dihasilkan oleh GCU meningkat secara drastis dari 5 mV dalam air laut menjadi 230 mV dalam air. Di sisi lain WPAL, WPCU, dan ACCU menghasilkan tegangan masing-masing 0,12 mV, 0,82 mV, dan 3,41 mV. Itu karena senyawa aluminium dan karbon bereaksi dengan H^+ Karena elektroda diteteskan dengan air garam seperti yang

ditunjukkan pada **Gambar 11c**, GAL dan ACAL menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada yang ada di air (**Gambar 11b**), yaitu, masing-masing 400 mV dan 180 mV.

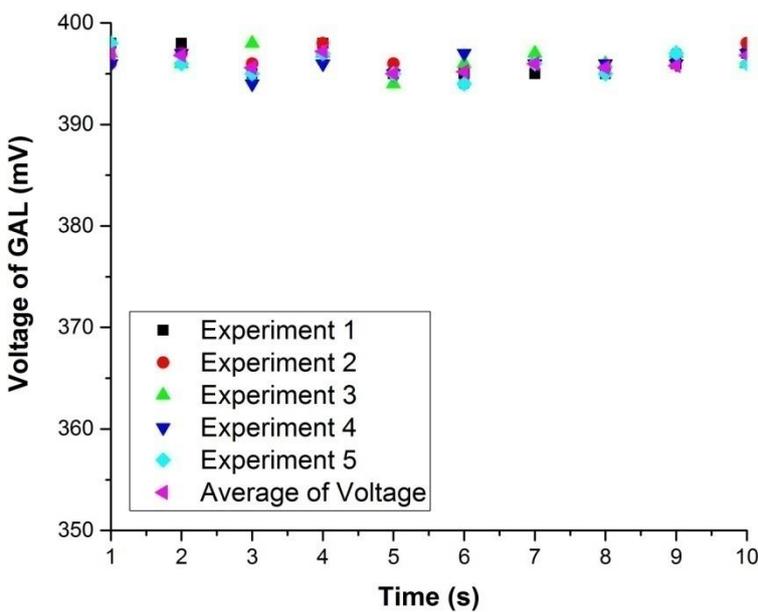
WPAL, WPCU, dan ACCU menghasilkan tegangan kecil masing-masing 30 mV, 60 mV, dan 20 mV, dan GCU menghasilkan hampir 0 mV. Itu karena senyawa aluminium yang bereaksi dengan Cl **Gambar 11c** menunjukkan bahwa GAL, WPAL, ACAL menghasilkan arus 22,1 nA, 6.2 nA, 15,1 nA, tetapi GCU, WPCU, dan ACCU hanya mampu menghasilkan arus sebesar 0,23 nA, 9 nA, 9 nA, 0,21 nA.



(a) Air laut



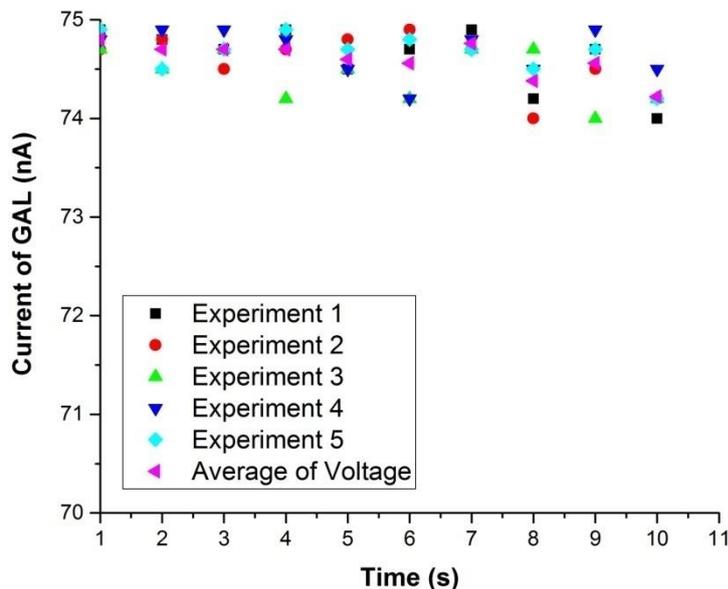
(a) Air (H₂O)



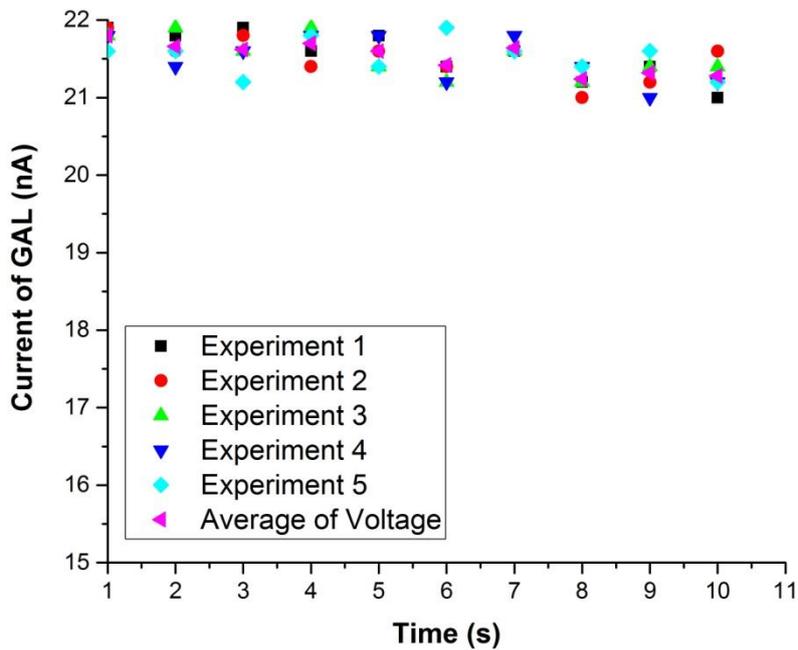
(a) Air Garam

Gambar 12. Respon Tegangan GAL

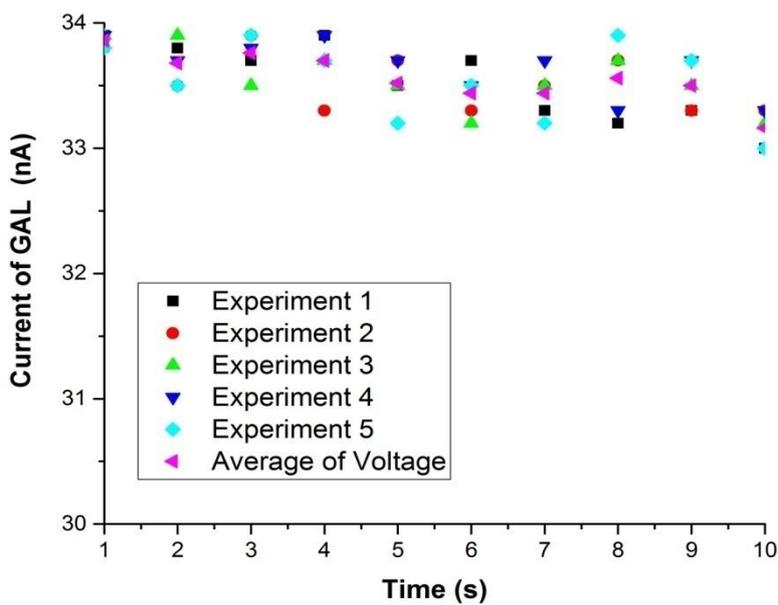
Gambar 12 menunjukkan respons tegangan untuk lima pengulangan pengukuran. Tegangan GAL ketika mereka berinteraksi dengan air laut pada 10 detik. Tegangan GAL memiliki kisaran 551mV - 558 mV. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa grafit mampu menyimpan energi ketika elektroda berinteraksi dengan unsur-unsur H, OH, Cl Namun, ketika elektroda berada dalam kontak dengan tetesan air (H_2O) tegangan GAL memiliki kisaran 289 mV- 305 mV. Hal ini disebabkan energi yang disimpan oleh grafit hanya berasal dari interaksi elektroda dengan H dan OH. Dalam kasus lain, ketika elektroda kontak dengan tetesan air garam, tegangan GAL berkisar 394mV -398mV. Hal ini disebabkan oleh energi yang disimpan oleh grafit berasal dari interaksinya dengan Cl saja.



(a) Air laut



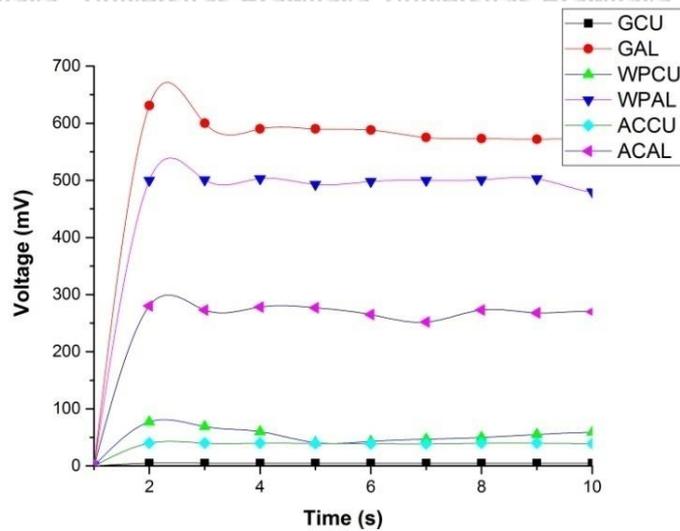
(a) Air (H₂O)



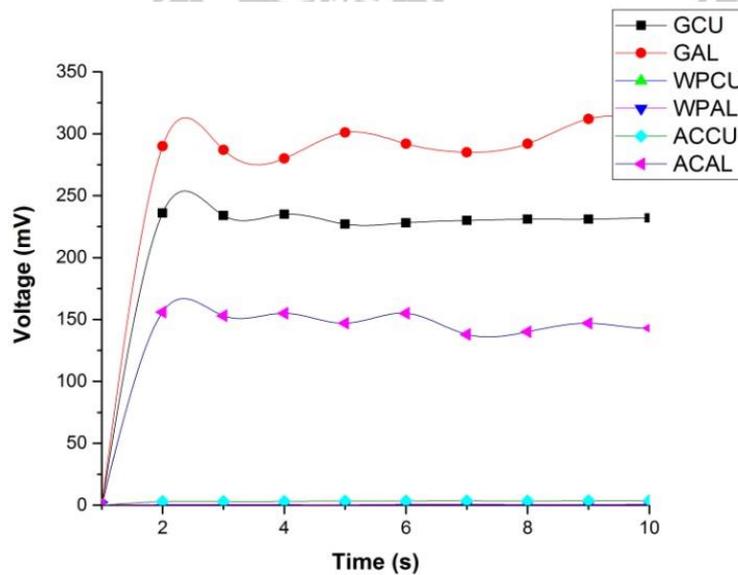
(a) Air Garam

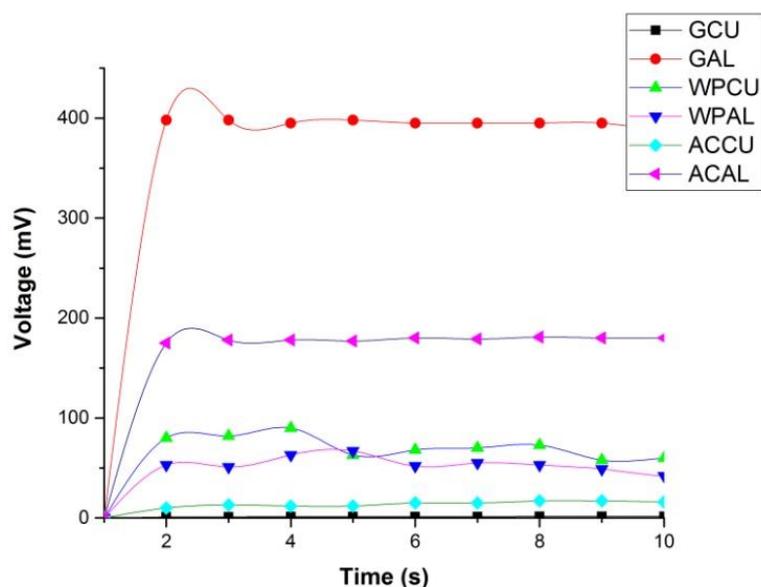
Gambar 13 Respon Arus GAL

Gambar 13 menunjukkan respons saat ini untuk lima pengulangan pengukuran. Terlihat bahwa arus GAL memiliki kisaran 74.2 nA - 74.9 nA. Namun, saat material berinteraksi dengan air (H_2O), arus GAL 21nA - 21,9 nA. Dalam kasus material yang berinteraksi dengan air garam, arus GAL memiliki 33nA- 33,9 nA. Gambar 13 menunjukkan bahwa data tegangan dan arus cukup konsisten.



(b) Air laut

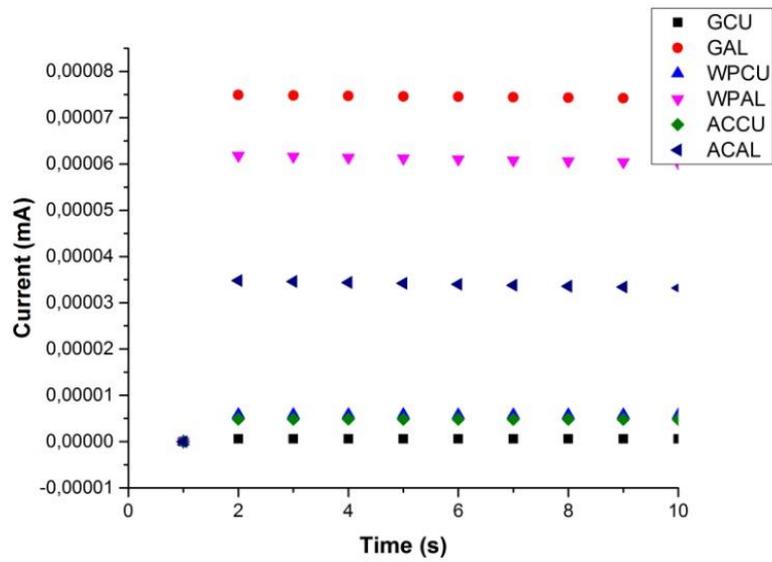
(c) Air (H_2O)



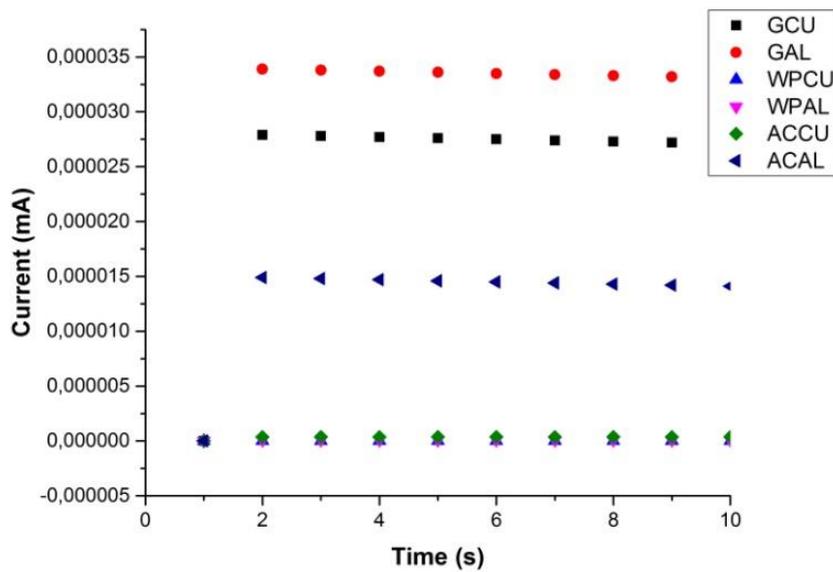
(d) Air Garam

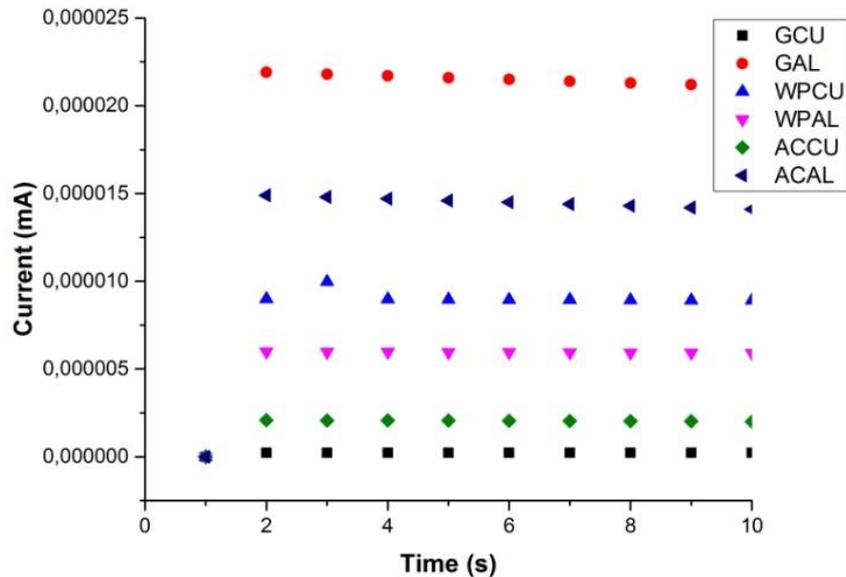
Gambar 14(a) Respon Kapasitif Graphite ketika ditetaskan berbagai jenis air

Gambar 14a menunjukkan respons tegangan dari berbagai bahan ketika mereka bersentuhan dengan air laut pada 1 detik. Tegangan GAL memiliki *over shoot* lebih dari 13% lebih tinggi dari WPAL, ACAL. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa grafit mampu menyimpan energi ketika elektroda berinteraksi dengan unsur H, OH, Cl. Namun, saat material bersentuhan dengan tetesan air (H_2O), tegangan GAL hanya 7% lebih tinggi dari WPAL, ACAL. Hal ini disebabkan energi yang disimpan oleh grafit hanya berasal dari interaksi elektroda dengan H dan OH. Dalam kasus lain, ketika material bersentuhan dengan tetesan air garam, tegangan GAL lebih tinggi 0,5% dari WPAL, ACAL. Ini disebabkan oleh energi yang disimpan oleh grafit yang berasal dari interaksinya dengan Cl saja.



(a) Air Laut

(b) Air (H₂O)



(c) Air garam

Gambar 15 (b) Respon Arus Graphite ketika ditetesi berbagai jenis air

Gambar 15b menunjukkan respons terkini dari berbagai bahan saat mereka bersentuhan dengan air laut. Terlihat bahwa saat ini GAL memiliki overshoot 2,5%, mirip dengan overshoot WPAL, ACAL. Namun, ketika bahan berada dalam kontak dengan air (H_2O) arus GAL memiliki menembak lebih dari 0,5%, mirip dengan menembak lebih dari WPAL, ACAL. Dalam kasus bahan yang bersentuhan dengan air garam, arus GAL memiliki lebih dari 0,3% overshoot, mirip dengan menembak lebih dari WPAL, ACAL.

BAB VI KESIMPULAN

6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan dalam riset ini adalah menemukan jenis elektroda yang dapat menghasilkan energi listrik ketika menjatuhkan air laut dan mempelajari perilaku elektron dalam membentuk ikatan baru. Proses energi listrik dalam elektroda grafit dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Dalam Pengujian SEM EDX menunjukkan Graphite 8B memiliki konsentrasi silikon 6,87 wt% , lebih besar dari Graphite 4B memiliki konsentrasi silikon 5,18 wt% sehingga menyebabkan graphite 8B lebih konduktif.
- b. Unsur H₂O memiliki peran untuk mengganggu proses elektron yang terdelokalisasi dalam grafit yang menghasilkan lompatan elektron. Dampak lompatan tersebut dapat menghasilkan energi listrik. Ketika Grafit berinteraksi dengan air laut, grafit akan bermuatan positif, sehingga dapat mengikat elemen Cl. Ini disebabkan oleh kekuatan Vander Waals dan reaksi redoks. Efek ini menyebabkan grafit melakukan karakteristik kapasitor. Kombinasi GAL menghasilkan tegangan sekitar 580 mV, arus 75 nA dan energi sekitar 43000 pWatt / droplet dibandingkan dengan elektroda lain karena energi ikatan elektron dalam aluminium sangat kecil. Sehingga elektron mudah terganggu oleh molekul air laut (H₂O, Cl) untuk bergerak dengan mudah. Air laut mampu mengubah karakteristik elektroda piezoelektrik menjadi generator listrik. Ini disebabkan oleh pergerakan elektron dalam reaksi redoks.

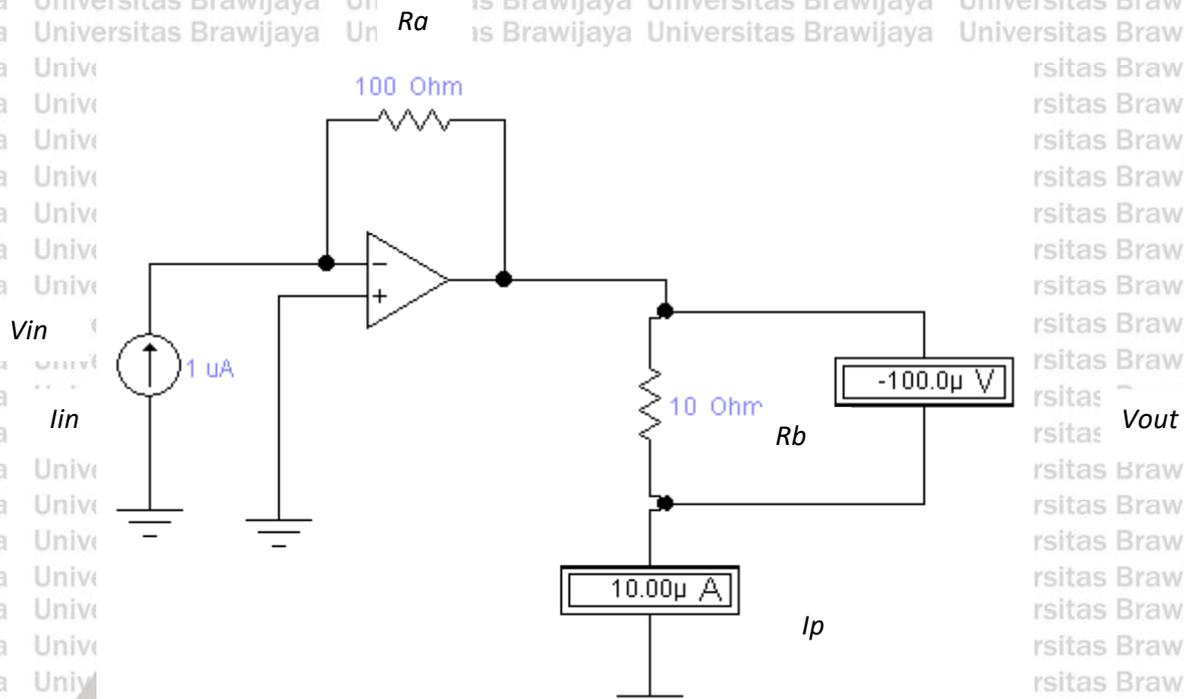
DAFTAR PUSTAKA

- Brand, Martin J et al. 2016. "Current Distribution within Parallel-Connected Battery Cells." *Journal of Power Sources* 334: 202–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.10.010>.
- Cabrane, Zineb, Mohammed Ouassaid, and Mohamed Maaroufi. 2016. "ScienceDirect Analysis and Evaluation of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for Photovoltaic Installation." *International Journal of Hydrogen Energy*: 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.141>.
- Chao Zhou et al., 2014. Graphene's cousin: the present and future of graphane. DOI:10.1186/1556-276X-9-26
- Choi, Chanyong et al. 2017. "A Review of Vanadium Electrolytes for Vanadium Redox Flow Batteries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69(September 2016): 263–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.188>.
- Deng, Nanping et al. 2016. "Review Article A Review on Separators for Lithium E Sulfur Battery: Progress and Prospects." *Journal of Power Sources* 331: 132–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.09.044>.
- Deng, Yuanfu, Chengcheng Fang, and Guohua Chen. 2016. "The Developments of SnO 2 / Graphene Nanocomposites as Anode Materials for High Performance Lithium Ion Batteries: A Review." *Journal of Power Sources* 304: 81–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.11.017>.
- Fang, Qingping et al. 2016. "Electrochemical Characterization of Fe-Air Rechargeable Oxide Battery in Planar Solid Oxide Cell Stacks." *Journal of Power Sources* 336: 91–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.10.059>.
- Fei, Hailong, Wenjing Feng, and Tan Xu. 2017. "Journal of Colloid and Interface Science Zinc Naphthalenedicarboxylate Coordination Complex: A Promising Anode Material for Lithium and Sodium-Ion Batteries with Good Cycling Stability." *Journal of Colloid And Interface Science* 488: 277–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.010>.
- Fulton, Ira A. 2017. "Can Li-Ion Batteries Be the Panacea for Automotive Applications?" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68(October 2016): 685–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.019>.
- Guin, M., F. Tietz, and O. Guillon. 2016. "New Promising NASICON Material as Solid Electrolyte for Sodium-Ion Batteries: Correlation between Composition, Crystal Structure and Ionic Conductivity of Na_{3+x}Sc₂Si₆P_{3-x}O₁₂." *Solid State Ionics* 293: 18–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2016.06.005>.

- Hahn, Horst et al. 2016. "Thick Electrodes for Li-Ion Batteries : A Model Based Analysis." 334.
- Ileš, Šandor, Jadranko Matuško, Mario Vašak, and Goran Kujundz. 2017. "Optimal Charging of Valve-Regulated Lead-Acid Batteries Based on Model Predictive Control." 187: 189–202.
- Kim, Jeongsoo et al. 2016. "Investigation of Manufacturing Parameters for NaCl-Ni Granule Type Cathodes Used in Low Temperature NaSICON Sodium-Metal Chloride Batteries." *Journal of Alloys and Compounds* 665: 288–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.01.001>.
- Kucinskis, Gints, Gunars Bajars, and Janis Kleperis. 2013. "Graphene in Lithium Ion Battery Cathode Materials: A Review." *Journal of Power Sources* 240: 66–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.03.160>.
- Liu, Yihang et al. 2016. "Layered P2-Na_{2/3}[Ni_{1/3}Mn_{2/3}]O₂ as High-Voltage Cathode for Sodium-Ion Batteries: The Capacity Decay Mechanism and Al₂O₃ Surface Modification." *Nano Energy* 27: 27–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.06.026>.
- Ma, Jingling, Jiuba Wen, Junwei Gao, and Quanan Li. 2014. "Performance of Al-0.5 Mg-0.02 Ga-0.1 Sn-0.5 Mn as Anode for Al-Air Battery in NaCl Solutions." *Journal of Power Sources* 253: 419–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.12.053>.
- Masoud, Emad M. et al. 2016. "Gel P (VdF/HFP) / PVAc / Lithium Hexafluorophosphate Composite Electrolyte Containing Nano ZnO Filler for Lithium Ion Batteries Application: Effect of Nano Filler Concentration on Structure, Thermal Stability and Transport Properties." *Polymer Testing* 56: 277–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.10.028>.
- Miao, He et al. 2017. "Composite Cathodes for Electrolyte-Supported Solid Oxide Fuel Cells with Thin YbSZ Electrolyte." *Journal of Alloys and Compounds* 695: 583–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.11.130>.
- Peng, Peng, and Fangming Jiang. 2016. "Thermal Safety of Lithium-Ion Batteries with Various Cathode Materials: A Numerical Study." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 103: 1008–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.07.088>.
- Schedlbauer, T. et al. 2013. "Blends of Lithium Bis(oxalato)borate and Lithium Tetrafluoroborate: Useful Substitutes for Lithium Difluoro(oxalato)borate in Electrolytes for Lithium Metal Based Secondary Batteries?" *Electrochimica Acta* 107: 26–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2013.05.130>.
- Shao G, Lu Y, Wu F, Yang C, Zeng F, Wu Q. (2012). Graphene oxide: the mechanisms of oxidation and exfoliation. *J. Mater. Sci.* 47(10): 4400-4409
- Swain, Basudev. 2017. "Recovery and Recycling of Lithium : A Review." *Separation and Purification Technology* 172: 388–403. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.031>.

- Wang, Ding et al. 2016. "Co-Modification of $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ Cathode Materials with Zirconium Substitution and Surface Polypyrrole Coating: Towards Superior High Voltage Electrochemical Performances for Lithium Ion Batteries." *Electrochimica Acta* 196: 101–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2016.02.156>.
- Wang, Xindi, Ningsong Qu, Xiaolong Fang, and Hansong Li. 2016. "Electrochemical Drilling with Constant Electrolyte Flow." *Journal of Materials Processing Tech.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.06.033>.
- Yamaguchi, Kazuki, Yasuhiro Domi, Hiroyuki Usui, and Masahiro Shimizu. 2017. "Influence of the Structure of the Anion in an Ionic Liquid Electrolyte on the Electrochemical Performance of a Silicon Negative Electrode for a Lithium-Ion Battery." *Journal of Power Sources* 338: 103–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.10.111>.
- Yuksel, Tugce, Shawn Litster, Venkatasubramanian Viswanathan, and Jeremy J Michalek. 2017. "Plug-in Hybrid Electric Vehicle LiFePO_4 Battery Life Implications of Thermal Management, Driving Conditions, and Regional Climate." *Journal of Power Sources* 338: 49–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.10.104>.
- Zhang, Weixin et al. 2016. "Chinese Journal of Chemical Engineering In-Situ Design and Construction of Lithium-Ion Battery Electrodes on Metal Substrates with Enhanced Performances: A Brief Review ☆." *CJCHE* 24(1): 48–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2015.07.015>.
- Zhang, Yilu, Xinyu Du, and Mutasim Salman. 2017. "Electrical Power and Energy Systems Battery State Estimation with a Self-Evolving Electrochemical Ageing Model." *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 85: 178–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.09.009>.
- Zuo, Xiuxia, Jin Zhu, Peter Müller-buschbaum, and Ya-jun Cheng. 2017. "Crossmark." *Nano Energy* 31(October 2016): 113–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.11.013>.

Lampiran 1. Rangkaian I to V menggunakan op-amp sebagai penguat arus.



Keterangan V_{in} = Tegangan input I_{in} = Arus input R_a = Hambatan referensi
 V_{out} = Tegangan input I_p = Arus penguatan R_b = Hambatan beban

Berdasarkan teori hukum Ohm

$$V_{out} = I_{in} \cdot R_a \quad \dots \dots \dots (1)$$

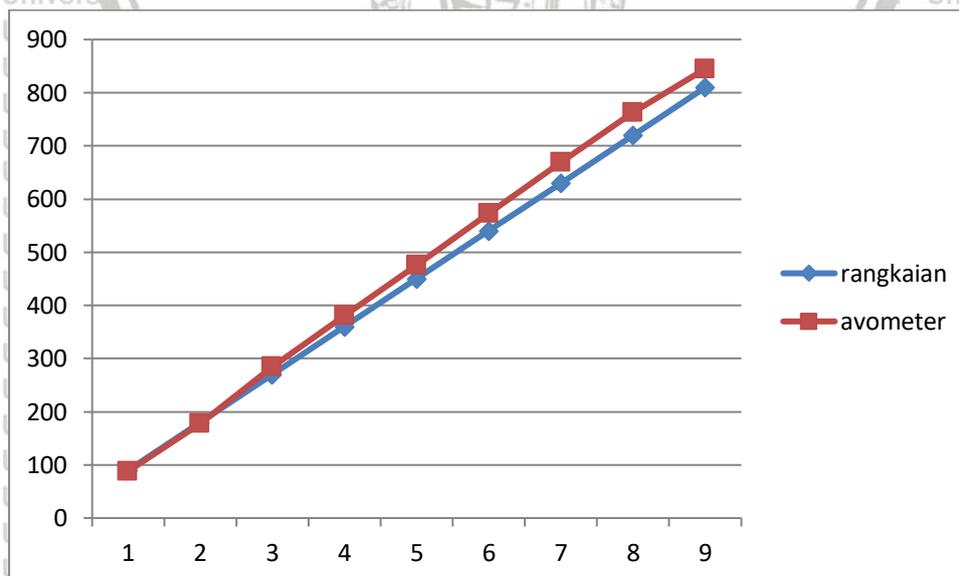
$$R_f = \frac{R_a}{R_b} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$I_p = \frac{V_{out}}{R_b} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta I = \frac{I_p}{I_{in}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

Proses kalibrasi rangkaian penguat arus

No	Arus Input rangkaian (mA)	Arus input Avometer	Penguatan	Arus output Alat	Arus Output Avometer (mA)
1	10	9.8	10	90	88.2
2	20	19.6	10	180	178.36
3	30	29.7	10	270	285.12
4	40	39.7	10	360	381.12
5	50	49.6	10	450	476.16
6	60	59.7	10	540	573.12
7	70	69.7	10	630	669.12
9	80	79.5	10	720	763.2
10	90	88	10	810	844.8



Listing program arduino untuk dapat menjalankan sensor arus ACS712 untuk 5A dengan memasukkan rumus kalibrasinya seperti berikut:

```
#include <Wire.h>
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  int Volt1;
  int Volt;

  Serial.println("mA");
  Serial.println("mV: ");
}
void loop() {
  //Sensor Arus
  float average = 0;
  for(int i = 0; i < 1000; i++) {
    average = average + (0.0264 * analogRead(A0) -13.51);
    delay(1000);
  }
  Serial.print(average);
  Serial.println("mA");
  //Sensor tegangan
  Volt1=analogRead(0);
  Volt=((((Volt1*0.00489)*5)/1000);
  Serial.print(Volt);
  Serial.println("V");
}
```