

# PENGARUH KETEBALAN PELAPISAN ELEKTRODA TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ALUMINIUM – SULFUR



**EKO LAGA**  
**D021 20 1033**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



**SKRIPSI**

**PENGARUH KETEBALAN PELAPISAN ELEKTRODA TERHADAP  
PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ALUMINIUM – SULFUR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**EKO LAGA  
D021 20 1033**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**

**LEMBAR PENGAJUAN SKRIPSI**

**Pengaruh Ketebalan Pelapisan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia  
Baterai Aluminium - Sulfur**

**Eko Laga**

**D021 20 1033**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

pada 24 September 2024

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****Pengaruh Ketebalan Pelapisan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai  
Aluminium - Sulfur**

Disusun dan diajukan oleh

**Eko Laga****D021 20 1033**

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 24 September 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Mengesahkan:

Pembimbing Tugas Akhir,



**Ir. Andi Mangkau, MT**  
NIP. 19611231 199002 1 003

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



**Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT**  
NIP. 19770707 200511 1 001

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "*Pengaruh Ketebalan Pelapisan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Aluminium – Sulfur*"(adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing **Ir. Andi Mangkau, MT.** Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 24 September 2024



Eko Laga

D021 20 1033

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia – Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pengaruh Ketebalan Pelapisan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Aluminium – Sulfur**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian dilaksanakan hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih terkhusus yang sedalam-dalamnya penulis persembahkan kepada Ibunda **Henny Rada** dan Ayahanda **Bartholomius Sebo** serta Kakak **Yustin Rada**. yang senantiasa me ndoakan, menyayangi, menyemangati dan menasehati penulis sampai bisa berada di tahap ini. Dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada:

1. Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT** dan Bapak **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT** selaku dosen penguji atas segala saran dan masukan untuk perbaikan serta pengembangan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
4. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan dalam pengurusan administrasi dan pengurusan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Kakak Zulkifli yang telah menemani, membantu dan mendukung penulis dalam pengambilan data sehingga terselesainya skripsi ini.
6. Saudara – saudara seperjuangan ZTATOR 2020, Teman – teman, kakak senior serta junior seperjuangan Laboratorium *Internal Combustion* yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.

7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberi dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Gowa ,                      2024

Penulis

## ABSTRAK

**EKO LAGA**, “Pengaruh Ketebalan Pelapisan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Aluminium – Sulfur”(dibimbing oleh Andi Mangkau)

Pada saat ini secondary battery banyak digunakan pada kendaraan listrik, secondary battery yang paling umum digunakan adalah lithium-ion. Sebagian besar EV saat ini, terutama mobil, menggunakan baterai Li-ion untuk tenaga penggerak. Baterai Li-ion banyak digunakan dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, seperti siklus hidup yang panjang, kepadatan daya yang tinggi, dan sifat self-discharge rendah. Ada beberapa hal yang menjadi kendala pada baterai Li-ion ini seperti ketersediaan bahan mentah, masalah keamanan, dan kapasitas penyimpanan energi yang terbatas.

Tujuan penelitian ini Untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan elektroda terhadap performa elektrokimia, kapasitansi, dan laju korosi baterai aluminium – sulfur.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dimulai pada bulan Desember 2023 di Laboratorium *Internal Combustion* Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan mengidentifikasi dan perumusan masalah, melakukan studi pustaka, pengambilan data, melakukan analisa hasil dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan saran.

Hasil penelitian ini Pada ketebalan 2 Layer ( $92 - 118 \mu$ ) memiliki performa elektrokimia yang lebih baik dibandingkan dengan 1 Layer dan 3 Layer. 2 Layer memiliki selisih puncak oksidasi dan puncak reduksi sebesar 0.05 V. Pada kurva cyclic voltammetry ditandai dengan terbentuknya puncak redoks yang sempit dan tajam. Kapasitansi tertinggi di peroleh pada ketebalan 1 Layer 180 menit ( $78 \mu$ ) sebesar 48.507 F/gr. Ditandai dengan memiliki ketebalan yang paling tipis  $78 \mu$ . Pada ketebalan 3 Layer 120 menit ( $170 \mu$ ) memiliki laju korosi yang cepat sebesar 2.9707 mm/a. Di ketahui semakin tebal pelapisan maka akan menghasilkan nilai potensial korosi menurun sedangkan laju korosinya bertambah dan juga nilai – nilai laju korosi yang telah di ketahui, terdapat hubungan bahwa semakin tinggi nilai rapat arus maka akan semakin besar pula laju korosinya. Ini di sebabkan karena banyak elektron yang dilepaskan ke dalam lingkungan.

**Kata Kunci:** Baterai Aluminium - Sulfur, Ketebalan, Kapasitansi, Laju Korosi

## ABSTRACT

EKO LAGA, *"The Effect of Electrode Coating Thickness on the Electrochemical Performance of Aluminum - Sulfur Batteries"* (supervised by Andi Mangkau)

Currently secondary batteries are widely used in electric vehicles, the most commonly used secondary battery is lithium-ion. Most EVs today, especially cars, use Li-ion batteries for propulsion. Li-ion batteries are widely used because they have several advantages, such as long cycle life, high power density, and low self-discharge properties. There are several things that are obstacles to Li-ion batteries, such as the availability of raw materials, safety issues, and limited energy storage capacity.

The aim of this research is to determine the effect of variations in electrode thickness on the electrochemical performance, capacitance and corrosion rate of aluminum – sulfur batteries

This research was carried out experimentally starting in December 2023 at the Internal Combustion Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Hasanuddin University, Gowa, South Sulawesi. This research was carried out in the stages of identifying and formulating problems, conducting literature studies, collecting data, analyzing results and discussing them, as well as drawing conclusions and suggestions.

The results of this research: 2 Layer thickness (92 – 118  $\mu$ ) has better electrochemical performance compared to 1 Layer and 3 Layer. 2 Layer has a difference between the oxidation peak and the reduction peak of 0.05 V. The cyclic voltammetry curve is characterized by the formation of a narrow and sharp redox peak. The highest capacitance was obtained at a thickness of 1 Layer 180 minutes (78  $\mu$ ) of 48,507 F/gr. Characterized by having the thinnest thickness of 78  $\mu$ . At a thickness of 3 Layer 120 minutes (170  $\mu$ ) it has a fast corrosion rate of 2.9707 mm/a. It is known that the thicker the coating, the corrosion potential value will decrease while the corrosion rate increases and also the known corrosion rate values, there is a relationship that the higher the current density value, the greater the corrosion rate. This is caused by many electrons being released into the environment.

Keywords: Aluminum Battery - Sulfur, Thickness, Capacitance, Corrosion Rate

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGAJUAN SKRIPSI .....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Landasan Teori.....	2
1.2.1 Sejarah Baterai .....	2
1.2.2 Elektroda .....	4
1.2.3 Elektrokimia dalam Baterai .....	4
1.2.4 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Performa Elektrokimia .....	5
1.2.5 Kapasitor .....	6
1.2.6 Superkapasitor .....	7
1.2.7 Separator .....	7
1.2.8 Pengumpul Arus (Current Collector) .....	8
1.2.9 Pengukuran Kapasitansi Sel Superkapasitor .....	8
1.2.10 Sulfur.....	14
1.2.11 Karbon Aktif .....	15
1.2.12 Elektrolit .....	18
1.2.13 Laju Korosi .....	19
1.3 Tujuan dan Manfaat .....	19
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	19
1.3.2 Manfaat Penelitian .....	19
1.4 Batasan Masalah .....	20
<b>BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>

2.1 Waktu dan Tempat .....	21
2.2 Alat dan Bahan.....	21
2.2.1 Alat.....	21
2.2.2 Bahan.....	28
2.3 Metode Pengambilan Data.....	30
2.3.1 Studi Lapangan ( <i>Field Research</i> ).....	30
2.3.2 Studi Kepustakaan ( <i>Library Research</i> ) .....	30
2.4 Prosedur Penelitian.....	30
2.4.1 Persiapan Elektroda.....	30
2.4.2 Pengujian .....	31
2.5 Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB III.....	33
3.1 Pengukuran Ketebalan Elektroda .....	33
3.2 Siklik Voltametri.....	34
3.2.1 Pengaturan Sel Elektroda .....	34
3.2.2 Perhitungan Nilai Kapasitansi Spesifik.....	37
3.2.3 Pembahasan Grafik .....	44
3.3 Pengujian Potentiodynamic (Tafel, LPR).....	50
3.3.1 Tabel Hasil Pengujian.....	51
3.3.2 Pembahasan Grafik .....	51
BAB IV .....	56
4.1 Kesimpulan .....	56
4.2 Saran .....	56
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Prediksi pasar superkapasitor dalam berbagai bidang aplikasi hingga tahun 2012.....	7
Gambar 1. 2 Sinyal eksitasi voltametri siklik. (Rokhmaturrokhman, 2007) .....	9
Gambar 1. 3 Voltamogram siklik ferrocyanida sebagai larutan elektrolit.....	9
Gambar 1. 4 Plot Kurva TG.....	10
Gambar 1. 5 Difraksi sinar-X pada kisi Kristal.....	12
Gambar 1. 6 Konfigurasi Elektron .....	14
Gambar 1. 7 Struktur Sulfur .....	15
Gambar 1. 8 Representasi interlayer grafit .....	16
Gambar 1. 9 Struktur karbon dan karbon amorf .....	16
Gambar 1. 10 Konfigurasi elektron dan orbital hybridisasi unsur karbon .....	18
Gambar 2.1 Timbangan .....	21
Gambar 2.2 Gelas Kimia.....	22
Gambar 2.3 Mixer Mini Electric.....	22
Gambar 2.4 Screen Sablon .....	23
Gambar 2.5 Raket.....	23
Gambar 2.6 Kaca Bening.....	24
Gambar 2.7 Shim Plate Stainless Stell .....	24
Gambar 2.8 Selotip .....	25
Gambar 2.9 Oven .....	25
Gambar 2.10 Pinset Anatom.....	26
Gambar 2.11 Gunting.....	26
Gambar 2.12 Corrttest Instrumen .....	27
Gambar 2.13 Komputer .....	27
Gambar 2.14 Sulfur Bubuk .....	28
Gambar 2.15 Karbon Aktif.....	28
Gambar 2.16 Polytetrafluoroethylene .....	29
Gambar 2.17 1 - Methyl 2 - Pyrrolidone Emplura.....	29
Gambar 2.18 Langkah – Langkah Pembuatan Elektroda .....	31
Gambar 3. 1 Ketebalan Pelapisan A(1L 60);B(1L 120);C(1L 180);D(2L 60);E(2L 120);F(2L 180);G(3L 60);H(3L 120);I(3L 180) .....	34
Gambar 3. 2 A.) Pengaturan 3 Sistem Elektroda B.) Benda Uji .....	35
Gambar 3. 3 Cell Electrode Setting.....	36
Gambar 3.4 Experiment Parameters .....	37
Gambar 3. 5 1 Layer 60 menit .....	39
Gambar 3. 6 2 Layer 60 menit .....	40
Gambar 3. 7 3 Layer 60 menit .....	40

Gambar 3. 8 1 Layer 120 menit .....	41
Gambar 3. 9 2 Layer 120 menit .....	41
Gambar 3. 10 3 Layer 120 menit .....	42
Gambar 3. 11 1 Layer 180 menit.....	42
Gambar 3. 12 2 Layer 180 menit .....	43
Gambar 3. 13 3 Layer 180 .....	43
Gambar 3. 14 Hasil Pengujian Cyclic Voltammetri pada pemanasan 60 menit .....	44
Gambar 3. 15 Hasil Pengujian Cyclic Voltammetri pada pemanasan 120 menit ....	46
Gambar 3. 16 Hasil Pengujian Cyclic Voltammetri pada pemanasan 180 menit ....	48
Gambar 3. 17 Potentiodynamic Parameter .....	50
Gambar 3. 18 Hasil Pengujian Potentiodynamic 1L, 2L , 3L pada pemanasan 60 menit.....	51
Gambar 3. 19 Hasil Pengujian Potentiodynamic 1L, 2L , 3L pada pemanasan 120 menit.....	53
Gambar 3. 20 Hasil Pengujian Potentiodynamic 1L, 2L , 3L pada pemanasan 180 menit.....	54

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Ketebalan .....	33
Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Siklik Voltametri .....	37
Tabel 3. 3 Data Perhitungan Kapasitansi Spesifik.....	38
Tabel 3. 4 Data Hasil Pengujian Potentiodynamic.....	51

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Penggunaan energi fosil seperti batu bara, bensin dan gas secara terus-menerus menyebabkan persediaan bahan bakar fosil menjadi menipis. Kecenderungan ini telah mendorong kenaikan harga jual bahan bakar fosil dan menciptakan ketergantungan yang kuat pada bahan bakar ini. Kemudian, pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan emisi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), sulfur oksida (SO<sub>2</sub>) sehingga mempercepat pemanasan global (D. Liu, G. Cao, 2010). Oleh karena itu, dibutuhkan pembaharuan sumber energi yang lebih baik. Selain itu, perkembangan teknologi telah menimbulkan masalah energi dan lingkungan, yang membuat masalah energi bersih menjadi isu hangat (X. Su, T. Huang, Y. Wang, A. Yu., 2016). Energi bersih seperti angin dan solar sel merupakan solusi untuk energi bersih namun memerlukan media penyimpanan dengan kemampuan yang besar.

Pada saat ini secondary battery banyak digunakan pada kendaraan listrik, secondary battery yang paling umum digunakan adalah lithium-ion. Sebagian besar EV saat ini, terutama mobil, menggunakan baterai Li-ion untuk tenaga penggerak. Baterai Li-ion banyak digunakan dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, seperti siklus hidup yang panjang, kepadatan daya yang tinggi, dan sifat self-discharge rendah. Ada beberapa hal yang menjadi kendala pada baterai Li-ion ini seperti ketersediaan bahan mentah, masalah keamanan, dan kapasitas penyimpanan energi yang terbatas (Nitta et al., 2015).

Aluminium merupakan alternatif yang menjanjikan, dengan kapasitas spesifik tertinggi kedua (2980Ah/kg) dan potensial oksidasi (-1,68V). Sulfur mempunyai kapasitas spesifik yang cukup tinggi (1675Ah/kg) dan digunakan sebagai katoda. Keuntungan tambahan dari Sulfur adalah harganya yang murah dan ramah lingkungan membuat Al-S baterai Aluminium ion yang paling menjanjikan (Al-ion). (M. Klimpel, 2022).

Selain itu, Aluminium, logam paling melimpah di Bumi, memiliki bilangan oksidasi +3, sehingga memiliki kapasitas spesifik yang tinggi, sifat mudah terbakar yang rendah, dan reaktivitas yang rendah, sehingga mudah dan aman untuk ditangani. Berat atomnya rendah dan kapasitas spesifik per satuan volume tertinggi (8046Ah/L) membuatnya cocok sebagai bahan anoda. Di sisi lain, sulfur memiliki keunggulan dari segi harga yang lebih murah dan melimpah di alam, lebih aman, dan ramah lingkungan. Salah satu cara yang paling efektif dalam mengatasi kelemahan pada unsur belerang adalah melakukan komposit sulfur dengan karbon aktif. Karbon aktif memiliki konduktivitas elektronik yang tinggi dan dapat mengatasi insulasi listrik belerang dan polisulfida.

Dalam pembuatan sel baterai, hal yang paling penting adalah membuat lembaran elektroda (katoda dan anoda). Lembaran harus memiliki komposisi bahan yang tepat, memiliki daya rekat yang baik, memiliki konduktivitas tinggi dan ketebalan lapisan yang tepat. Lembaran dibuat dengan mencampurkan material aktif dengan PVDF, AB, dan pelarut DMAC. Dalam pembuatan lembaran elektroda ada beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti komposisi bahan, lama pencampuran, viskositas slurry, ketebalan lapisan, suhu pemanasan, kecepatan coating, suhu dan lama pengeringan. Ketepatan dalam mencampurkan bahan pada komposisi perlu diperhatikan, karena komposisi bahan akan menentukan morfologi lembaran anoda dan efeknya berpengaruh terhadap kinerja elektroda (Suci, P.S.,2015). Sedangkan performa elektrokimia sel baterai meliputi kerapatan daya/power spesifik dan kepadatan energi spesifik dari baterai juga sangat bergantung pada ketebalan lapisan material aktif pada current collector ( Nordh, Tim.,2013 )

Dalam beberapa penelitian yang mempelajari pengaruh ketebalan elektroda dengan menggunakan elektroda LiNiCoMnO dan LiFePO<sub>4</sub> terhadap performa baterai menunjukkan bahwa semakin tipis elektroda maka densitas energi tinggi tetapi terjadi penurunan kapasitaas lebih cepat dan densitas power lebih rendah (H. Zheng., J. Li., X. Song., G. Liu., V. S. Battaglia. 2012 ). Namun dalam penelitian mengenai elektroda belum ada yang membahas pegraruh ketebalan elektroda pada performa elektrokimia sel baterai ion lithium. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat serbuk sulfur dan pembuatan lembaran aluminium anoda yang difokuskan pada variasi ketebalan material elektroda.

## **1.2 Landasan Teori**

### **1.2.1 Sejarah Baterai**

Pada tahun 1774, Volta menemukan electrophorus atau sebuah perangkat yang bisa menghasilkan listrik statis. Setelah 5 tahun di Royal School, Alessandro Volta dipanggil untuk menjadi profesor di University of Pavia pada tahun 1779. Di tempat tersebut, dia menemukan “tumpukan volta”, metode praktis pertama untuk memproduksi listrik (Yantoro, Dwi, 2019).

Tumpukan volta dibuat dengan menumpuk piringan tembaga dan cakram seng secara berselingan dengan potongan karton yang dicelupkan dalam air garamditempatkan di antara kedua piringan tersebut. Tumpukan tersebut mampu menghasilkan arus listrik. Penemuan ini diakui sebagai baterai pertama yangmenghasilkan arus listrik secara konsisten dan dapat diandalkan.

Selain berasal dari penemuan oleh fisikawan Italia, ternyata sejarah perkembangan baterai juga terjadi di Baghdad. Penemuan ini berawal ketika sebuah silinder tembaga diletakkan di tengah-tengah batang besi dalam

larutan yang tidak diketahui. Larutan ini belakangan disebut elektrolit dan peristiwanya dikenal sebagai ionisasi larutan elektrolit (Yantoro, Dwi, 2019).

Baterai yang ditemukan di Baghdad merupakan salah satu artifak kuno yang paling membingungkan para ilmuwan maupun arkeolog. Pada tahun 1930 silam, pada sebidang makam kuno di luar Baghdad (Khujut Rabula), beberapa arkeolog yang melakukan penggalian di sana menemukan sebuah artifak yang diduga merupakan satu set baterai kimia yang usianya telah mencapai 2000 tahun lebih (Yantoro, Dwi, 2019).

Artifak aneh tersebut terdiri atas sebuah silinder tembaga, batang besi, serta aspal yang disusun sedemikian rupa dalam sebuah jambangan kecil (tinggi 14 cm dan diameter 8 cm) yang terbuat dari tanah liat. Setelah para ahli mereka ulang, ternyata memang benar didapati bahwa artifak tersebut merupakan sebuah baterai elektrik kuno. Para peneliti berhasil memperoleh tegangan sebesar *1,5 volt* dari artifak batu baterai elektrik tersebut, yang bekerja nonstop selama 18 hari dengan cara memasukkan cairan asam ke dalam jambangannya, misalnya air jeruk (sunkistatau lemon lebih bagus), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, serta semua larutan golongan elektrolit (Yantoro, Dwi, 2019).

Usia artifak baterai kuno ini diperkirakan berkisar 2.000 – 5.000 tahun, jauh sebelum Alessandro Volta (Italia) membuat baterai pertama kali pada tahun 1800 M serta Michael Faraday (Inggris) menemukan induksi elektromagnetik dan hukum elektrolisis pada tahun 1831 M yang jarak penemuannya hingga kini mencapai sekitar 200 tahun lebih. Temuan ini tentunya dapat mengubah pandangan manusia masa kini akan kemajuan teknologi yang telah dicapai oleh peradaban manusia masa lalu (Yantoro, Dwi, 2019).

Baterai *Nickel Cadmium (Ni-Cad)* yang merupakan baterai yang dibuat dari campuran *Nikel* dan *Cadmium*, diproduksi pertama kali setelah penemuan artifak batu baterai di Baghdad yang membuat perhatian dunia tertuju ke arah penelitian tentang pembuatan dan pengembangan baterai yakni pada tahun 1946. Namun memiliki kekurangan yakni ada pada biaya pembuatan yang mahal, kapasitas berkurang jika baterai tidak dikosongkan (*memory effect*), dan tidak ramah lingkungan (beracun). Kemudian pada tahun 1980, baterai *Nickel Metal Hydride (NiMH)* dikembangkan dengan kapasitas lebih besar dan tidak menggunakan senyawa kimia yang berbahaya bagi lingkungan (Yantoro, Dwi, 2019).

Namun, seiring dengan perkembangan teknologi, baterai ini dianggap kurang mampu menangani perangkat elektronik yang baru. Pada perkembangan selanjutnya adalah baterai *Lithium-Ion* yang ditemukan pertama kali tahun 1960 di Bell Labs. Baterai ini paling banyak digunakan untuk perangkat elektronik karena rasio energidan berat paling baik, tanpa *memory effect* (bisa diisi ulang kapan saja), bentuk sangat fleksibel, ringan,

dan kehilangan daya saat digunakan paling kecil. Namun sayangnya, kekurangan dari baterai ini adalah umur pakainya tergantung dari lama pembuatan dan seringnya frekuensi isi ulang. Maka dari itu, muncullah baterai *Lithium-Polymer* (Hadiwibowo dan Mahardika, 201

### 1.2.2 Elektroda

Elektroda adalah komponen sistem kelistrikan yang fungsinya untuk mentransfer arus listrik antara elektrolit dan konduktor luar . Elektroda biasanya terbuat dari bahan konduktif seperti logam atau karbon dan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sel elektrokimia , baterai , dan sistem elektrolisis Ada dua jenis elektroda:

- Anoda Pada sel galvanik, anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif yang disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan, elektron akan dilepaskan pada fase ini.
- Katoda Katoda adalah elektroda-elektroda tempat terjadinya reduksi berbagai zat kimia.

Pada sel galvanik, katoda bermuatan positif bila dihubungkan dengan anoda. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda ini untuk reduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda (Dogra, 1990).

### 1.2.3 Elektrokimia dalam Baterai

Elektrokimia adalah bagian penting dalam proses kerja baterai yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik.

Dalam sel elektrokimia, dapat menghasilkan energi listrik dengan jalan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda. Jadi sebuah sel elektrokimia selalu terdiri dari dua bagian atau dua elektroda, setengah reaksi oksidasi akan berlangsung pada anoda dan setengah reaksi akan berlangsung pada katoda. Dengan kata lain pada sel elektroda kimia, kedua setengah reaksi dipisahkan dengan maksud agar aliran listrik (elektron) yang ditimbulkan dapat dipergunakan. Salah satu faktor yang menunjukkan sebuah sel adalah gaya gerak listrik (GGL) atau perbedaan potensial listrik antara anoda dan katoda (Bird, 1987).

Reaksi oksidasi – reduksi Oksidasi ialah perubahan kimia dimana suatu atom atau kelompok atom melepaskan elektron, dan reduksi ialah perubahan kimia dimana suatu atom atau kelompok atom menerima elektron. Transformasi yang mengubah atom netral menjadi ion positif berlangsung dengan melepaskan elektron yang disebut dengan proses oksidasi. Demikian pula, transformasi unsur netral menjadi anion harus diikuti oleh penambahan elektron yang disebut proses reduksi. Oksidasi dan reduksi selalu berlangsung serentak, dan jumlah elektron yang dilepaskan

pada oksidasi harus sama dengan jumlah elektron yang di dapatkan pada reduksi (Rosenberg,1996).

Jenis-jenis sel elektrokimia Sel Elektrokimia terutama digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Dibawah ini jenis-jenis sel elektrokimia

a. Sel Kering Leclanche Wadah seng dan selubung luar berfungsi sebagai anoda. Ditengah-tengah sel ditempatkan katoda karbon inert. Elektrolit yang berupa pasta terdiri dari  $MnO_2$   $ZnCl_2$   $NH_4Cl$  dan carbon black. Nilai GGL sel ini adalah kurang lebih 1,5 volt. Sel lenclance dikenal sebagai sel primer karena tidak dapat diisi kembali atau dengan kata lain reaksinya tidak dapat dibalik.

b. Aki (Accu) Aki merupakan salah satu contoh sel sekunder karena reaksi reduksi yang berlangsung pada sel ini dapat dibalik dengan jalan mengalirkan arus listrik. Aki terdiri dari sebuah elektroda timbal dan sebuah elektroda  $PbO_2$  yang dicelupkan dalam larutan asam sulfat. Kedua elektroda tadi mempunyai permukaan luas dan disusun berdekatan satu dengan yang lain dengan menggunakan rangka yang kaku. Apabila digunakan dalam waktu yang lama, maka kedua elektroda akan dilapisi oleh lapisan  $PbSO_4$  dan air yang dihasilkan akan mengencerkan asam sulfat yang terdapat dalam sel. Dengan demikian arus listrik dari luar dengan arah yang berlawanan, reaksi yang terjadi akan merupakan kebalikan dari reaksi. Asam sulfat akan terbentuk kembali dan  $PbSO_4$  akan membentuk  $Pb$  dan  $PbO_2$  lagi. Jadi dengan mengalirkan arus listrik dari luar dengan arah yang berlawanan, sel akan dapat digunakan lagi.

c. Sel bahan bakar merupakan suatu sel elektrokimia yang disusun sedemikian rupa sehingga bahan yang digunakan untuk membentuk elektroda secara terusmenerus diubah dalam sel untuk menghasilkan listrik (Bird,1987)

#### 1.2.4 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Performa Elektrokimia

Faktor utama yang mempengaruhi kinerja elektrokimia sel baterai adalah:

- Bahan Elektroda Bahan elektroda yang digunakan sangat menentukan tidak hanya aktivitas elektrokimia tetapi juga potensial reduksi dan oksidasi. Bahan elektroda harus mempunyai daya hantar listrik yang baik.
- Desain Sel Desain fisik sel baterai, seperti permukaan elektroda, ketebalan, porositas, dan hubungan antar komponen sel, mempengaruhi laju perpindahan elektron dan massa.

- Elektrolit Sifat elektrolit seperti konduktivitas ionik, viskositas, dan stabilitas kimia dan elektrokimia juga memainkan peran utama dalam kinerja baterai.
- Pendinginan Manajemen termal yang buruk menyebabkan degradasi bahan aktif dan memperpendek masa pakai baterai. Pendinginan diperlukan untuk menjaga suhu sel.
- Polarisasi Pembentukan lapisan pasif pada permukaan elektroda harus diminimalkan. Ini menciptakan polarisasi dan menurunkan tegangan sel.
- Laju Aliran Laju aliran atau aliran bahan aktif, elektrolit, dan elektron juga mempengaruhi kinetika reaksi elektrokimia di dalam suatu sel.

### 1.2.5 Kapasitor

Kapasitor (Kondensator) yang dalam rangkaian elektronika dilambangkan dengan huruf "C" adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kapasitor ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867). Satuan kapasitor disebut Farad (F). Satu Farad =  $9 \times 10^{11} \text{ cm}^2$  yang artinya luas permukaan kepingan tersebut. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatanmuatan positif dan negatif di awan. (Ramdhani, 2005)

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitasbaterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan

baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam *Ah* (*Ampere –hour*). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (*Ampere -hour*), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini: ( Woning,Paul. R, 2012),

$$Ah = \text{Kuat Arus (ampere)} \times \text{waktu (hours)} \quad (1)$$

dimana,

Ah = kapasitas baterai

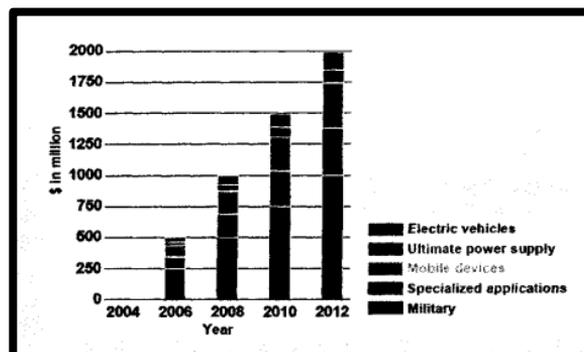
I = kuat arus(ampere)

t = waktu(jam/sekon)

### 1.2.6 Superkapasitor

Superkapasitor, juga dikenal sebagai ultrakapasitor atau elektrokimia kapasitor dua lapisan (EDLC), adalah kapasitor elektrokimia yang mempunyai rapat energi yang tinggi bila dibandingkan dengan kapasitor biasa, biasanya sampai seribu kalilipat lebih besar, kapasitor biasa mempunyai kapasitan dalam satuan mikro farad sedangkan superkapasitor dengan ukuran yang sama mempunyai nilai kapasitan beberapa farad. Komersial superkapasitor tertinggi bisa mempunyai kapasitan sampai 3.000

farad. Superkapasitor mempunyai variasi komersial aplikasi, diantaranya adalah pada kendaraan elektrik, sebagai pengganti power suplai, *mobile devices*, penggunaan khusus dan penggunaan pada bidang militer. Prediksi pasar superkapasitor dalam US \$ hingga tahun 2012 ditunjukkan pada grafik dibawah.(Taer, Erman; Awitdrus; Farma, Rakhmawati; Anita, Sofia,2015)



### 1.2.7 Separator

Separator adalah komponen pasif yang diletakkan di antara anoda dan katoda dalam baterai. Perannya sangat kritis untuk memastikan

*Gambar 1. 1* Prediksi pasar superkapasitor dalam berbagai bidang aplikasi hingga tahun 2012

keamanan dan kinerja elektrokimia sel baterai. Separator saat ini, baik yang digunakan secara komersial atau masih dalam penyelidikan, belum memenuhi standar kinerja stabilitas dan umur pakai yang tinggi yang diperlukan untuk mencegah penurunan efisiensi dan keandalan teknologi baterai. Penelitian terbaru banyak berfokus pada pengembangan separator fungsional, mulai dari desain berbagai bahan dan metode modifikasi baru, serta proses preparasi teroptimasi. Separator dirancang untuk mengatasi masalah keamanan baterai seperti pertumbuhan dendrit litium, ketahanan termal yang rendah, efek shuttle pada baterai lithium-sulfur. Separator juga dirancang untuk meningkatkan densitas energi baterai dengan memodifikasi sifat seperti *wettability*, adsorpsi polysulfida, efek katalitik, ketebalan dan morfologi. Beberapa tantangan utama riset separator saat ini adalah menyeimbangkan peningkatan keamanan dan kinerja baterai, memenuhi standar industri untuk komersialisasi, dan skalabilitas proses fabrikasi separator fungsional. Prospek pengembangan separator di masa depan antara lain separator yang dapat meregang, mendeteksi dendrit litium, *shutdown reversible* pada suhu tinggi untuk baterai Li-ion, dan separator fungsional khusus untuk jenis baterai tertentu. (Xiaozhou Huang, dkk, 2020)

### **1.2.8 Pengumpul Arus (Current Collector)**

Pengumpul arus berfungsi menangkap ion-ion dari elektrolit. Bahan yang digunakan sebagai pengumpul arus harus mempunyai kemampuan yang baik untuk menghantarkan arus listrik (bahan konduktor). Ion-ion elektrolit yang dikumpulkan akan semakin optimal jika bahan yang digunakan semakin baik konduktifitasnya. Aluminium tipis (foil) yang dilekatkan dengan elektroda, aluminium foil juga berfungsi sebagai pengumpul arus (*current collector*). Bahan konduktor yang baik harus mempunyai konduktivitas tinggi, kekuatan mekanik (tarik) yang tinggi, koefisien muai panjang yang kecil dan modulus elastisitas yang cukup besar seperti perak, tembaga, nikel, aluminium dan stainless steel ( Afrianda, A., 2018).

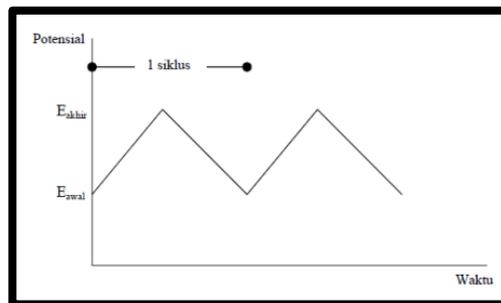
### **1.2.9 Pengukuran Kapasitansi Sel Superkapasitor**

Pengukuran sel superkapasitor bertujuan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik dengan menggunakan metode pengukuran yaitu:

#### **1.2.9.1 Siklik Voltammogram (CV)**

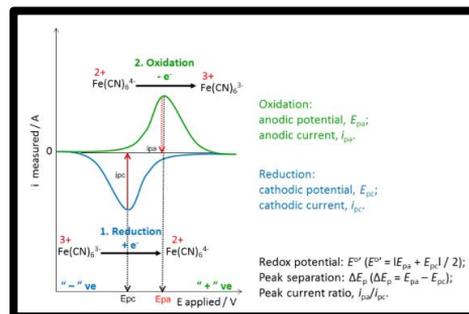
Voltametri siklik merupakan teknik yang banyak digunakan untuk mendapatkan informasi tentang reaksi elektrokimia (Riyanto, 2013). Teknik ini mampu memberikan informasi mengenai termodinamika proses reduksi-oksidasi dan kinetika transfer elektron yang terjadi dipermukaan elektroda. Pada voltametri siklik respon arus diukur sebagai fungsi potensial, dimana pemberian potensial dilakukan secara bolak-balik, sehingga informasi reduksi dan oksidasi dapat teramati dengan baik. Karakteristik *cyclic voltammetry* tergantung beberapa

faktor yaitu laju reaksi transfer elektron, kereaktifan larutan elektroaktif, dan scan rate potensial. Larutan elektrolit yang semula dioksidasi pada sapuan potensial maju (forward scan) akan direduksi setelah sapuan potensial balik (*reverse scan*). Pada teknik voltametri siklik potensial diberikan dalam suatu siklus antara dua nilai beda potensial, pada awal potensial meningkat hingga maksimum kemudian turun secara linier dengan kemiringan yang sama hingga kembali ke potensial awal. Siklus ini akan berulang-ulang dan harus dicatat sebagai fungsi waktu. Ilustrasi tentang teknik voltametri siklik ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 1. 2 Sinyal eksitasi voltametri siklik. (Rokhmaturrokhman, 2007)

Hasil dari voltametri siklik ini adalah hubungan antara arus dan potensial disebut voltammogram siklik seperti Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 1. 3 Voltammogram siklik ferrocyanida sebagai larutan elektrolit

Keterangan:

$E_{pa}$  = Potensial pada saat terbentuknya peak anodic

$E_{pc}$  = Potensial pada saat terbentuknya peak cathodic

$I_{pa}$  = Arus pada saat terbentuknya peak anodic

$I_{pc}$  = Arus pada saat terbentuknya peak Cathodic

Besarnya arus untuk pasangan puncak dari reaksi yang berlangsung secara reversible pada suhu 25°C ditentukan dengan persamaan Randles-Sevcik:

$$I_p = (2,69 \times 10^5) N^{3/2} A C D^{1/2} v^{1/2} \quad (2)$$

Keterangan:

$I_p$  = arus puncak

$n$  = jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi

$A$  = luas efektif permukaan elektroda ( $cm^2$ )

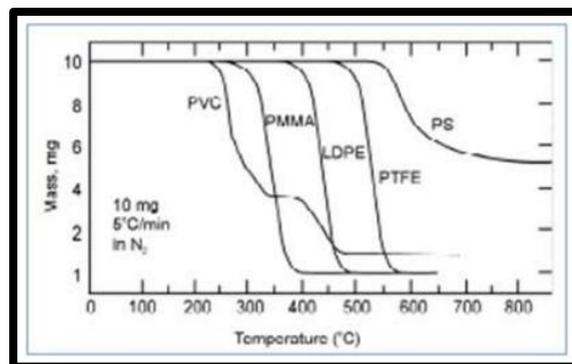
$C$  = konsentrasi ( $mol/cm^3$ )

$D$  = koefisien difusi ( $cm^2/s$ )

$V$  = laju potensial atau scan rate (V/s)

### 1.2.9.2 Thermogravimetry Analyzer (TGA)

Thermogravimetry merupakan suatu teknik untuk menganalisa perhitungan stabilitas termal suatu bahan bakar dan fraksi komponen zat volatilnya dengan memonitor perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas (Brown, M.E. 2001). Hasilnya biasanya berupa rekaman diagram yang kontinu. Metode TGA merupakan prosedur yang cukup banyak dilakukan dalam karakterisasi bahan. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu tinggi yang biasanya sekitar 900°C. Alat TGA



Gambar 1. 4 Plot Kurva TG

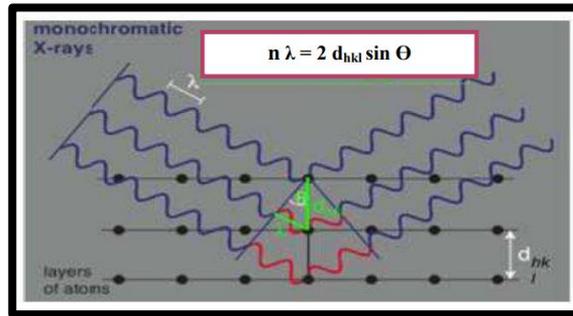
dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Kurva TG dapat membantu menyatakan tingkat kemurnian sampel yang dianalisa dan menentukan transformasi dalam sampel dalam rentang temperatur spesifik.

Gambar 1.4 mengindikasikan bahwa polimer PVC memiliki kestabilan termal yang paling rendah dan PS memiliki kestabilan paling tinggi. Polimer PS tidak kehilangan berat dibawah suhu 500°C dan dekomposisi terjadi pada suhu 600°C. Tiga polimer yang lain sudah terdekomposisi sekitar suhu 450°C. Polimer PMMA dekomposisinya lebih lambat, hal ini diindikasikan dari kemiringan kurva TG. Kurva TG polimer PMMA memiliki kemiringan yang lebih rendah dari sebelumnya. Pada pemanasan yang kontinyu dari suhu kamar, maka pada suhu tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada suhu tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari spektrum FTIR.

### 1.2.9.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X adalah suatu radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang ( $\lambda=0,1$  nm) yang lebih pendek dibandingkan gelombang cahaya tampak ( $\lambda= 400- 800$  nm). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. Karena asalnya tidak diketahui saat itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang tidak merusak pada material maupun manusia. Sinar-X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material (Ratnasari,2009).

Ketika suatu material dikenai sinar-X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar monokromatik yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, namun karena keteraturan letak atom-atom penyusunnya, maka pada arah tertentu gelombang hambur tersebut akan berinterferensi konstruktif sedangkan yang lain akan berinterferensi destruktif (Vlanck, V, Lawrence. 2004). Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi.



Gambar 1. 5 Difraksi sinar-X pada kisi Kristal

Pengertian Hukum Bragg dijelaskan pada Gambar 2.5 Hukum Bragg merupakan perumusan matematika tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Difraksi sinar-X sangat penting pada identifikasi senyawa kristalin. Intensitas cahaya yang terdifraksi tergantung pada kuantitas material kristalin yang sesuai di dalam sampel. Karena itu sangat mungkin mendapatkan analisa kuantitatif dari sejumlah relatif konstituen dari campuran senyawa padatan (Ewing, G.W., 1960).

Sinar-X dihasilkan dari tumbukan antara elektron kecepatan tinggi dengan logam target. Dari prinsip dasar ini, maka dibuatlah berbagai jenis alat yang memanfaatkan Hukum Bragg. XRD merupakan salah satu alat yang memanfaatkan prinsip tersebut dengan menggunakan metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Dasar dari prinsip pendifraksian sinar-X yaitu difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Ketika seberkas sinar-X menumbuk pada bahan, hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif bila terpenuhi persamaan (Bragg Fuhu, L., 2010).

$$n \lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta \quad (3)$$

dengan,

$$n = 1, 2, 3$$

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar x

$d_{hkl}$  = Jarak antar atom bidang Bragg

$\theta$  = Sudut difraksi

Secara umum persamaan jarak bidang dapat ditulis sebagai berikut.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \quad (4)$$

Keterangan :

$a$  = sisi kubus

$d$  = jarak antara dua bidang kristal

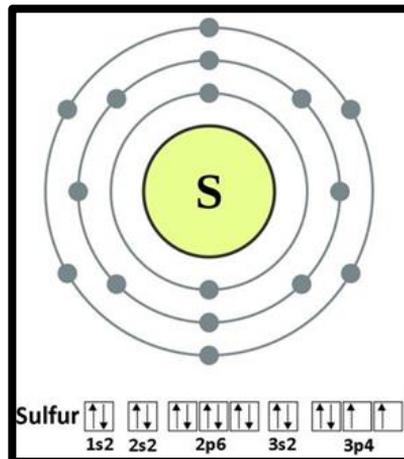
$h, k, l$  = indeks Miller

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan menghamburkan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS-ICDD (*Joint Commitee on Powder Diffraction Standard-International Centre for Diffraction Data*)(Ratnasari,2009).

Prinsip kerja XRD secara umum adalah sebagai berikut, XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Sinar-X dihasilkan di tabung sinar-X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik.

### 1.2.10 Sulfur

Sulfur atau belerang adalah suatu unsur kimia yang memiliki lambang S. Ciri-ciri belerang antara lain bentuknya nonlogam yang tidak berasa. Belerang dapat ditemukan di alam sebagai unsur murni atau sebagai mineral-mineral sulfide dan sulfat (A. R. Lucheta,2021).

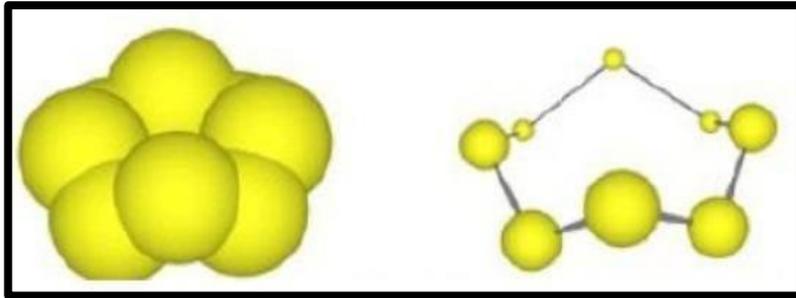


Gambar 1. 6 Konfigurasi Elektron

Keadaan stabil belerang adalah bentuk rombik seperti mahkota yang berwarna kuning. Belerang rombik dapat meleleh pada suhu  $113^{\circ}\text{C}$  yang menghasilkan cairan berwarna jingga. Pada pemanasan berlanjut, berubah menjadi cairan kental berwarna coklat-merah. Penggunaan komersilnya terutama dalam pupuk serta untuk pembuatan bubuk mesiu, korek api, insektisida, dan fungisida (A. Adlia, dkk, 2019). Sulfur memiliki kulit dan konfigurasi elektron seperti pada gambar 2.6

Siklus sulfur atau daur belerang tidak akan pernah berhenti selama salah satu komponen penting penting seperti tumbuhan masih ada di permukaan bumi ini (A. J. Am, 2021).

Sulfur berwarna kuning seperti lemon dengan ukuran mikrokristal dengan berat atom 32,06 u. Sulfur adalah atom dengan nomor 16 dan masuk dalam periode 3 pada blok p. Sulfur merupakan jenis unsur nonlogam poliatomik. Pada keadaan STP, sulfur memiliki fasa yang padat dengan titik lebur  $388,36\text{ K}$  atau  $115^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $717,8\text{ K}$  atau  $444,6^{\circ}\text{C}$  dengan titik kritis  $1314\text{ K}$ ,  $20,7\text{ MPa}$ . Sulfur memiliki kapasitas panas molar sebesar  $22,75\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ . Oksidasi sulfur dapat menghasilkan asam yang kuat dengan bilok 6,5,4,3,2,1,-1,-2 dan memiliki keelektronegatifan 2,58. Sulfur memiliki energi ionisasi ke-1 sebesar  $999,6\text{ K/mol}$ , ke-2 sebesar  $2252\text{ K/mol}$ , ke-3 sebesar  $3357\text{ K/mol}$ . Sulfur memiliki jari-jari kovalen  $10^{-5}\text{ pm}$ . Sulfur memiliki struktur kristal dengan thermal conductivity  $0,205\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  dan electrical resistivity  $2 \times 10^{15}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$  pada  $20^{\circ}\text{C}$  (S. Cheah, 2020).

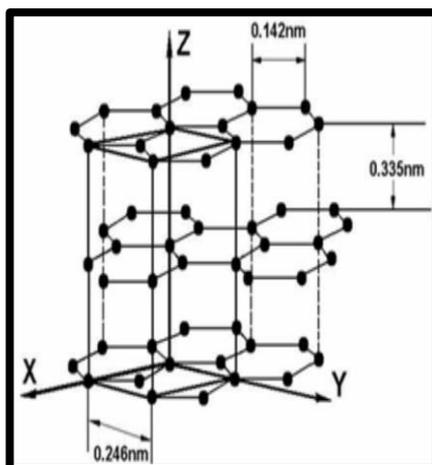


Gambar 1. 7 Struktur Sulfur

Belerang atau sulfur adalah sebuah unsur kimia berwarna kuning yang umumnya dijumpai dalam wujud senyawa-senyawa seperti sulfur dioksida atau sulfid. Gas sulfur dioksida adalah gas menyesakkan, berbau busuk, menyengat yang dihasilkan ketika belerang terbakar dan dianggap sebagai bahan yang mencemari udara ketika beberapa gunung berapi sedang erupsi. Sulfid melepaskan gas sulfur dioksida ketika bertemu dengan asam, maka aksi mereka sama dengan sulfur dioksida sendiri. Ternyata bahan ini dikenal sebagai pengelantang (bleaching agent) dan antimikroba. Kerena kedua sifat tersebut bahan ini dipakai dalam proses pemurnian gula. Sulfid digunakan untuk melawan oksidasi (M. Pamungkas, 2021).

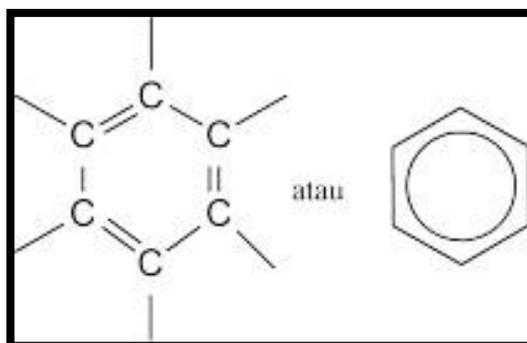
### 1.2.11 Karbon Aktif

Active Carbon (AC) adalah sekumpulan bahan dengan komposisi amorf (acak) non-grafit dengan struktur pori-pori kecil bervolume rendah yang biasanya digunakan untuk adsorpsi atau reaksi kimia. Hal ini menjadikan AC sebagai bahan yang sangat dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. AC juga memiliki sifat dengan mikroporositas yang tinggi. Menurut karakteristik fisik, AC dapat diklasifikasikan sebagai butiran atau GAC (Granulated Active Carbon), bubuk atau PAC (Powdered Active Carbon), ekstrak atau EAC (Extracted Active Carbon), pellet, dan karbon. Secara global, AC merupakan bahan dengan porositas tinggi, luas permukaan yang besar, tingkat reaktivitas permukaan yang sangat besar, stabilitas kimia dan fisis yang luar biasa, stabilitas radiasi dan kekuatan mekanik yang tinggi (F. Luna-Lama, 2018). Karbon aktif (AC) dapat dibuat dari bahan organik maupun anorganik yang mengandung kadar karbon tinggi. Karbon aktif biasanya dibuat dari limbah kayu, tempurung kelapa, cangkang buah karet, kulit kayu gelam dan sebagainya (A. Benítez, 2012).



Gambar 1. 8 Representasi interlayer grafit

AC dihasilkan dari pembakaran atau dekomposisi termal berbasis karbon, tetapi mengalami perubahan struktural baik pada tingkat molekuler maupun morfologi. Meskipun AC dianggap sebagai bahan yang berbasis karbon amorf, sebenarnya AC memiliki struktur mikrokristalin. Namun, AC memiliki ruang interlayer yang lebih besar dibandingkan dengan grafit. Ruang/jarak interlayer grafit 0,335 nm (3,35 Amstrong) sedangkan active carbon memiliki jarak interlayer 2-4 Amstrong (A. Benítez,2012).



Gambar 1. 9 Struktur karbon dan karbon amorf

Dalam AC, karbon adalah unsur dengan proporsi tertinggi (85– 95% atau lebih), sedangkan komposisi sisanya sesuai dengan abu anorganik dan heteroatom (hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen). Oleh karena itu, tingkat ketidakteraturan pada lapisan mikrokristalin AC disebabkan oleh adanya heteroatom tersebut. Secara umum, setiap bahan yang bersifat karbon dapat diubah menjadi AC, namun sifat dari produk akhir akan bergantung pada bahan awal yang dipilih serta kondisi dan jenis

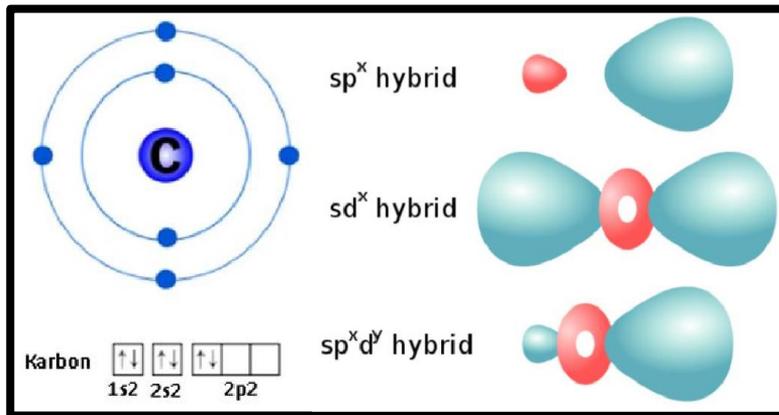
proses aktivasi yang dilakukan. Selama karbonisasi, unsur-unsur non-karbon dihilangkan dan meninggalkan atom karbon yang dikelompokkan menjadi tumpukan lembaran yang menjadi ikatan silang dalam susunan acak ( F. Luna-Lama,2018).

Dalam pembuatan karbon terdapat jenis karbon bakar dan karbon aktif. Karbon bakar terbuat hanya melalui proses karbonisasi yang menghasilkan residu karbon dari bahan organik. Proses mengubah bahan baku organik menjadi karbon berwarna hitam dilakukan melalui pembakaran dalam ruang tertutup dengan udara terbatas. Hasil dari pembakaran yang berhasil membentuk abu berwarna keputihan. Secara umum karbon jenis ini hanya digunakan untuk pembakaran saja. (Á. C. Almudena Benítez,2020).

Arang yang dihasilkan pasca karbonisasi memiliki struktur berpori yang kurang berkembang. Proses aktivasi arang menghasilkan celah antara lembaran yang dibersihkan, dan pembentukan pori-pori yang terdistribusi secara acak dengan berbagai bentuk dan ukuran, menyediakan AC dengan luas permukaan yang lebih luas ( F. Luna-Lama,2018)..

AC banyak digunakan pada berbagai jenis sektor seperti industri, kesehatan, lingkungan dan pertanian. Penggunaan utama dari karbon aktif adalah untuk pemurnian larutan, bahan kosmetik, hingga menjadi campuran makanan. AC diklaim dapat membantu proses pembuangan racun dalam tubuh (detoksifikasi) namun karbon aktif ini dapat menyerap obat-obatan yang dikonsumsi sehingga efek dari obat tidak sepenuhnya tercapai (Á. C. Almudena Benítez,2020).

AC merupakan bahan baku berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri atas atom karbon bebas dan mempunyai permukaan dalam sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik. Bahan ini mampu mengadsorpsi anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas. Dalam proses pembuatannya, AC dibuat melalui 2 proses yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur seperti oksigen dan hidrogen sehingga didapatkan karbon dengan struktur tertentu. Kemudian proses aktivasi bertujuan untuk membuka pori-pori karbon dan memperbesar luas permukaan pori karbon agar dapat dijadikan sebagai adsorben (J. Morales,2018).



Gambar 1. 10 Konfigurasi elektron dan orbital hybridisasi unsur karbon

AC dihasilkan dari pemanasan bahan-bahan organik dengan panas yang sangat tinggi. Sifat-sifat fisik dan kimiawi bahan asal dengan keadaan proses karbonisasi menentukan sifat-sifat karbon aktif. Suhu selama karbonisasi berkisar antara  $600^{\circ}\text{C}$  yang diperuntukkan selama kurang lebih 1 jam lalu diturunkan menjadi  $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$  yang dipertahankan selama beberapa hari. Kemudian di stilasi dengan menaikkan suhu menjadi  $600\text{-}800^{\circ}\text{C}$  dengan pemanasan yang tertutup rapat tanpa adanya zat asam atau oksigen (A. Pozio,2022).

Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari  $0,2\text{ cm}^3/\text{g}$  dengan luas permukaan lebih besar dari  $500\text{ m}^2/\text{gram}$  dan dapat mencapai  $2.000\text{ m}^2/\text{g}$ . Dalam pembuatan arang pada saat proses pembakaran/pemanasan akan menimbulkan dan mengubah kimiawinya dan menyebabkan timbulnya suatu daya dalam butiran karbon yang dapat menarik kebanyakan zat-zat kimia. Karbon aktif memiliki spektrum pengikatan yang lebih luas dibandingkan bahan-bahan adsorbens lainnya termasuk attapulgit, Arizona montorillonite, atau susu yang diupkan. Proses sintesis AC dari biomassa 5 langkah, yaitu pra- perlakuan, karbonisasi, aktivasi, perlakuan panas, dan pencucian. Masing-masing tahap sintesis AC dapat dilakukan secara terpisah atau bersama-sama tergantung pada prekursor biomassa yang digunakan, kapasitas struktural bahan baku dan sifat fisika-kimia AC yang dihasilkan ( F. Luna-Lama,2018).

### 1.2.12 Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu zat kimia yang dapat menghantarkan listrik ketika terurai menjadi ion-ion dalam pelarut polar. Bahan elektrolit cair dapat menembus celah-celah atau pori-pori dari bahan elektroda, baik anoda maupun katoda. ( Endo.M,2001)

Elektrolit yang baik digunakan pada sel superkapasitor adalah elektrolit yang mampu menghasilkan muatan yang tinggi serta mampu memasuki pori-pori yang terdapat dalam elektroda seperti Kalium Hidroksida (KOH) dan Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ). Pemilihan KOH dan  $H_2SO_4$  sebagai elektrolit karena diameter ion yang dihasilkan lebih kecil sehingga mudah memasuki pori-pori elektroda. Elektrolit KOH memiliki ukuran diameter ion 0,36 nm dan  $H_2SO_4$  memiliki ukuran diameter ion 0,26 nm. (Taer, 2016)

### **1.2.13 Laju Korosi**

Korosi merupakan degradasi dari suatu material akibat interaksi dengan lingkungan melalui proses elektrokimia. Pada saat suatu logam di ekspos ke lingkungannya, maka akan terjadi interaksi diantara keduanya. Timbulnya korosi ini akan sangat merugikan karena dapat menimbulkan kerusakan, penurunan penampilan, ongkos maintenance membesar, kontaminasi produk, serta keamanan berkurang. Korosi yang biasa terjadi di lapangan memiliki berbagai macam jenis antara lain: galvanic, uniform, crevice, pitting, intergranular, selective leaching, erosion corrosion, stress corrosion cracking. Faktor - faktor yang harus ada dalam korosi antara lain: anoda, katoda, konduktor, dan elektrolit (Fontana, 1986).

## **1.3 Tujuan dan Manfaat**

### **1.3.1 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan elektroda terhadap performa elektrokimia baterai aluminium – sulfur
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan elektroda terhadap kapasitansi baterai aluminium-sulfur
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan elektroda terhadap laju korosi baterai aluminium-sulfur

### **1.3.2 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagi Mahasiswa
  - a. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
  - b. Sebagai bahan referensi untuk memberikan gambaran mengenai Pengaruh Ketebalan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Aluminium – Sulfur

## 2. Bagi Akademik

- a. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dilingkup Departemen Teknik Mesin.
- b. Merupakan pustaka tambahan untuk menunjang proses perkuliahan.

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat dicapai, perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan di kampus Fakultas Teknik Unhas.
2. Sampel yang digunakan yaitu *Shim Plate Stainless Steel*.
3. Lapisan *Shim Plate Stainless Steel* yaitu sulfur, karbon aktif, *Polytetrafluoroethylene* (PTFE).
4. Menggunakan selotip sebagai variasi ketebalan.
5. Suhu pemanasan yang digunakan 150° C. Dengan variasi waktu pemanasan 60 menit, 120 menit, 180 menit.
6. Penelitian ini berfokus pada pembuatan pelapisan elektroda di katoda.
7. Elektrolit yang digunakan adalah Kalium Klorida ( KCl ) 1M.

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2023 di Laboratorium *Internal Combustion* Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Jalan poros Malino, Km.6 Bontomarannu Gowa.

### 2.2 Alat dan Bahan

#### 2.2.1 Alat

##### 1. Timbangan

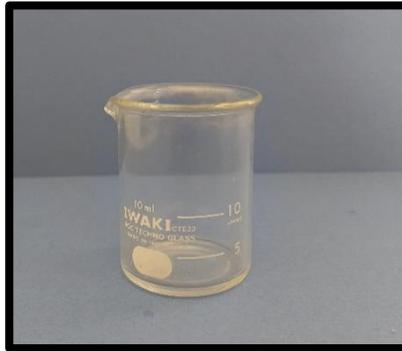
Timbangan berfungsi sebagai mengukur jumlah bahan baku yang akan di gunakan.



Gambar 2.1 Timbangan

## 2. Gelas Kimia

Gelas Kimia berfungsi sebagai wadah untuk pengadukan bahan baku.



Gambar 2.2 Gelas Kimia

## 3. Mixer Mini Electric

Mixer Mini Electric berfungsi sebagai pengaduk bahan baku yang akan di gunakan.



Gambar 2.3 Mixer Mini Electric

#### 4. Screen Sablon

Screen Sablon berfungsi sebagai untuk mencetak elektroda.



Gambar 2.4 Screen Sablon

#### 5. Rakel

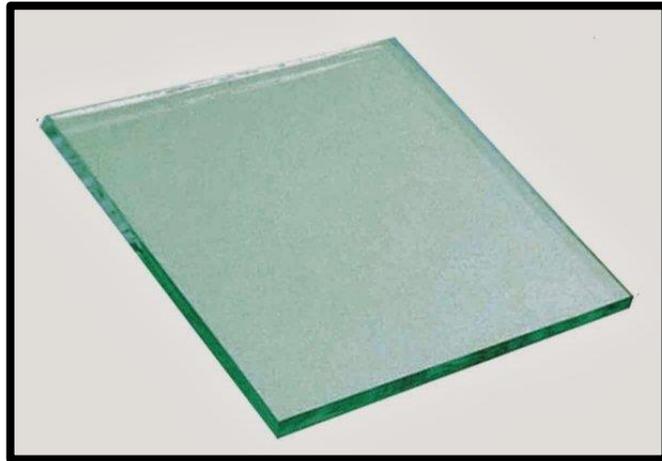
Rakel berfungsi sebagai meratakan dan mendorong pasta elektroda.



Gambar 2.5 Rakel

## 6. Kaca Bening

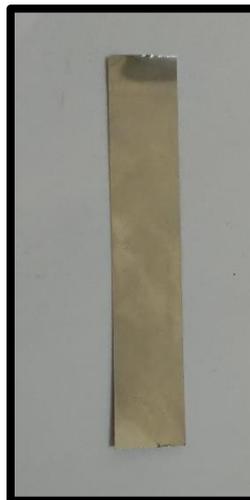
Kaca Bening berfungsi sebagai tempat melekatnya pelat aluminium.



Gambar 2.6 Kaca Bening

## 7. *Shim Plate Stainless Steel*

*Shim Plate Stainless Steel* berfungsi untuk menyesuaikan dan melekatnya pasta elektroda.



Gambar 2.7 *Shim Plate Stainless Steel*

## 8. Selotip

Selotip berfungsi untuk memvariasikan ketebalan elektroda.



Gambar 2.8 Selotip

## 9. Oven

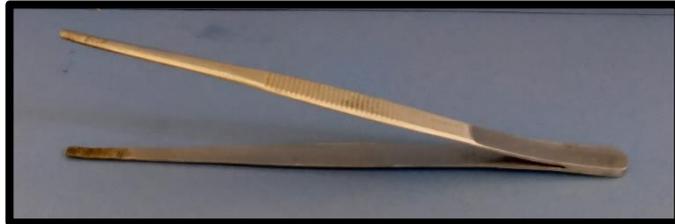
Oven berfungsi untuk memanaskan pasta elektroda yang telah di buat.



Gambar 2.9 Oven

**10. Pinset Anatomi**

Pinset Anatomi berfungsi untuk membantu memasukkan shim plate elektroda ke microwave.



Gambar 2.10 Pinset Anatom

**11. Gunting**

Gunting berfungsi untuk memotong dan membentuk shim plate.



Gambar 2.11 Gunting

## 12. Corrtest Instrumen

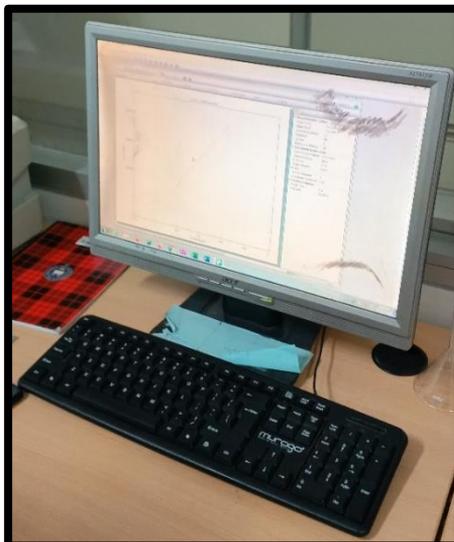
Corrtest Instrumen berfungsi untuk menghitung nilai Galvanostat.



Gambar 2.12 Corrtest Instrumen

## 13. Komputer

Komputer berfungsi untuk menampilkan hasil uji pada layar display.

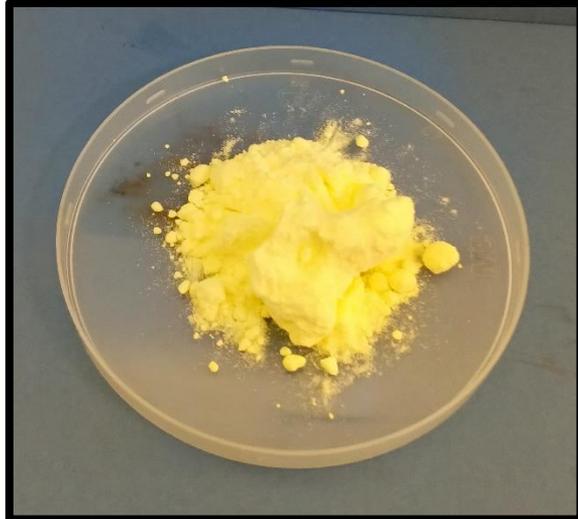


Gambar 2.13 Komputer

### 2.2.2 Bahan

#### 1. Sulfur Bubuk

Sulfur Bubuk berfungsi sebagai bahan aktif pada elektroda negatif.



Gambar 2.14 Sulfur Bubuk

#### 2. Karbon Aktif

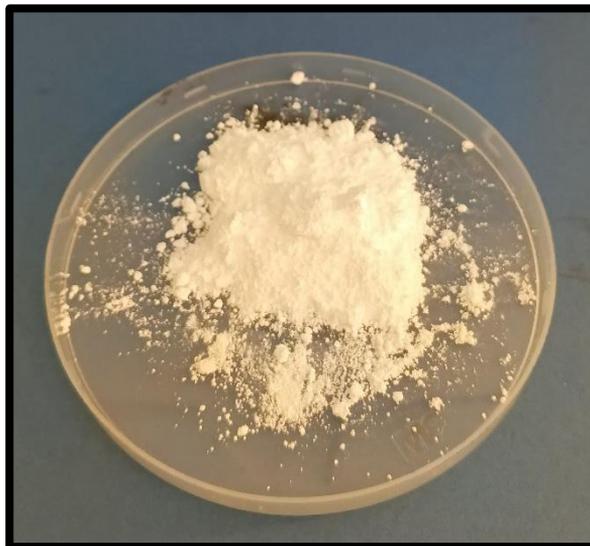
Karbon Aktif berfungsi meningkatkan kinerja bahan elektroda.



Gambar 2.15 Karbon Aktif

### 3. *Polytetrafluoroethylene (PTFE) Bubuk*

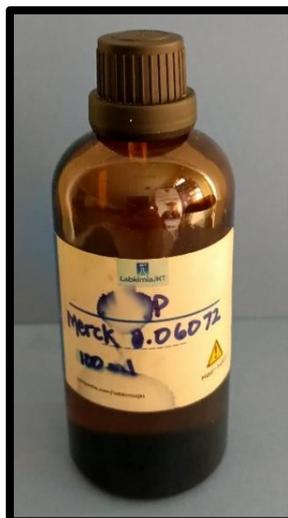
*Polytetrafluoroethylene* Bubuk berfungsi sebagai bahan penguat untuk meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi.



Gambar 2.16 Polytetrafluoroethylene

### 4. *1 - Methyl 2 - Pyrrolidone Emplura*

*Methyl Pyrrolidone* berfungsi untuk melarutkan sulfur, karbon aktif, dan PTFE



Gambar 2.17 1 - Methyl 2 - Pyrrolidone Emplura

## 2.3 Metode Pengambilan Data

### 2.3.1 Studi Lapangan (*Field Research*)

Studi lapangan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan mengumpulkan data langsung dari analisa yang dilakukan dari tempat penelitian, meliputi setiap hasil penelitian, foto - foto, dan data yang relevan terhadap penelitian. Ini bisa berbentuk tulisan dan gambar sehingga mengelolanya dalam bentuk tabel dan grafik.

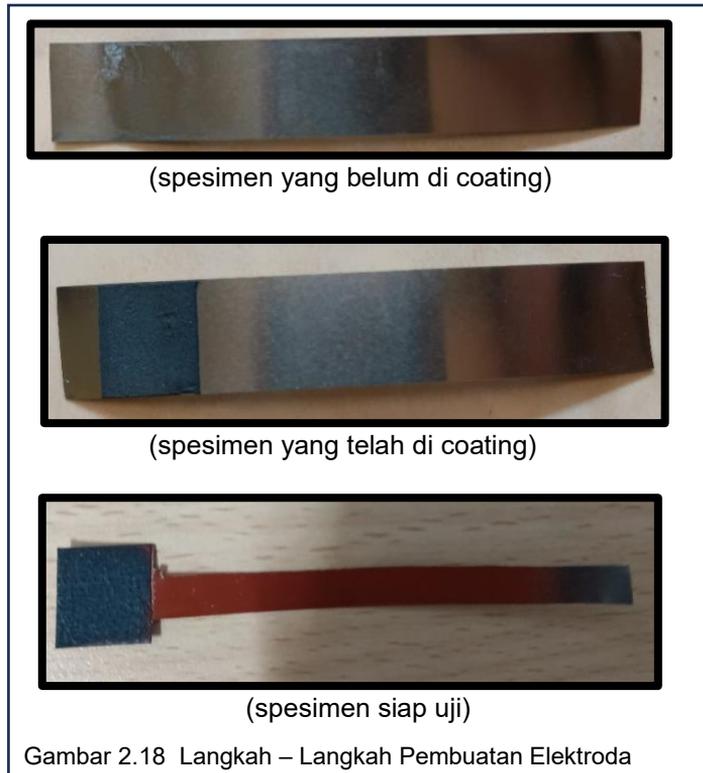
### 2.3.2 Studi Kepustakaan (*Library Research*)

Studi kepustakaan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur sertacatatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

## 2.4 Prosedur Penelitian

### 2.4.1 Persiapan Elektroda

- 1) Memotong shim plate stainless stell berukuran 5 cm x 1.27 cm.
- 2) Membuat pasta elektroda dengan mencampurkan 1 gram sulfur, 0.6 gram karbon aktif, 0.4 gram PTFE, dan pelarut 1.5 gram.
- 3) Setelah bahan baku di persiapan, kemudian di aduk menggunakan mixer mini selama 30 menit.
- 4) Untuk tiap pengujian, di butuhkan selotip untuk memvariasikan ketebalan elektroda sebanyak 1 Layer, 2 Layer, 3 Layer
- 5) Pasta elektroda yang telah di buat,selanjutnya di tumpahkan sedikit demi sedikit di screen sablon dengan cara di tekan hingga merata sesuai dengan ketebalan selotip pada sheem plate stainless stell.
- 6) Melapisi plat stainless stell menggunakan spray insulin yang tidak di lapisi pasta elektroda.
- 7) Mengatur suhu microwave 150° C dengan variasi waktu berbeda selama pengujian.
- 8) Membuat elektrolit dari bahan KCl (Kalium Klorida)



## 2.4.2 Pengujian

### A. Persiapan Pengujian

#### a) Pengujian dengan ketebalan 1 Layer, 2 Layer, 3 Layer

- 1) Menyiapkan shim plate stainless steel sebanyak 3 sampel dan kaca bening, kemudian di beri selotip 1 Layer.
- 2) Kemudian Pasta elektroda yang telah melekat pada sheem plate sesuai dengan variasi ketebalan 1 Layer, di masukkan ke dalam microwave selama 60 menit, 120 menit, dan 180 menit.
- 3) Setelah di panaskan, di beri resin pada bagian elektroda yang tidak terkena pelapisan.
- 4) Kemudian di uji menggunakan alat Corrtest Instrumen
  - Catat nilai Siklik Voltametri
  - Catat nilai Potensial Dinamik ( Laju korosi )

## 2.5 Diagram Alir Penelitian

Sistematika dari penelitian ini dapat kita tinjau pada diagram alir sebagai berikut:

