

**SKRIPSI**

**ANALISIS POTENSI PEMANFAATAN *SLAG* NIKEL  
SEBAGAI ALTERNATIF SUMBER ENERGI LISTRIK**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ASNUL FAUZIA  
D131 19 1025**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS POTENSI PEMANFAATAN *SLAG* NIKEL SEBAGAI ALTERNATIF SUMBER ENERGI LISTRIK

Disusun dan diajukan oleh

**Asnul Fauzia**  
**D131191025**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 12 September 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

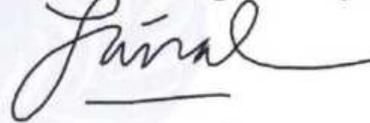
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.  
NIP 19721119200121001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr-ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T., IPU, AseanEng, ACPE.  
NIP 197506052002121004

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM.  
NIP 197204242000122001



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Asnul Fauzia  
NIM : D131191025  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Potensi Pemanfaatan *Slag* Nikel sebagai Alternatif  
Sumber Energi Listrik

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 4 Oktober 2023

Yang Menyatakan

  
  
Asnul Fauzia



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, pemilik langit dan bumi yang karena kuasa-Nya lah semua dapat terjadi. *Alhamdulillah*, hanya dengan kata ini dapat tergambar rasa syukur atas segala nikmat, karunia, kesempatan, dan kemampuan yang Allah telah titipkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Potensi Pemanfaatan Slag Nikel sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik**”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah *Shallallahu 'Alayhi Wa Sallam*, sebagai sebaik-baik suri tauladan bagi umat manusia yang telah membukakan jalan yang terang menuju ilmu pengetahuan.

Tugas Akhir ini disusun setelah melewati proses penelitian dalam jangka waktu yang tidak singkat. Adapun tujuan utama penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai syarat penyelesaian studi pada jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, tidak sedikit rintangan yang dihadapi. Namun berkat bantuan dari beberapa pihak yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan *support* sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Dengan penuh ketulusan dan kerendahan hati, izinkan penulis untuk menuliskan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan wadah selama penulis berkuliah di Fakultas Teknik.
2. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, kebijaksanaan, dan dukungan kepada mahasiswa Teknik Lingkungan.
3. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang banyak sekali memberikan masukan selama proses penelitian ini. Segenap waktu, ilmu, dan tenaga yang diberikan agar penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Dan juga atas bimbingannya sebagai Kepala Laboratorium Sanitasi dan Persampahan yang memberikan banyak pengalaman berharga selama penulis menjadi Asisten Laboratorium.
4. Bapak Prof. Dr-ing. Ir. Faizal Arya Samman, S.T., M.T., IPU., AseanEng., ACPE. selaku Dosen Pembimbing Pendamping atas segala masukan, arahan, ilmu, dan dorongan yang diberikan agar penulis mampu belajar hal-hal baru khususnya di bidang elektrokimia. Dan juga atas waktu dan tenaga yang diberikan di tengah-tengah kesibukannya.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Lingkungan atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis selama berkuliah di Teknik Lingkungan.
6. Ibu Sumi, Pak Olan, dan Kak Tami selaku staf Departemen Teknik Lingkungan yang juga banyak membantu dalam proses pengurusan administrasi.

akhir ini penulis persembahkan dengan penuh rasa terima kasih dan kerendahan hati terkhusus kepada :

dua orang tua penulis yang sangat penulis cintai, Bapak Tamrin, S.Ag. dan Ibu Hasmi, S.Pd. Kupersembahkan buah tangan ini sebagai suatu bagian



terkecil dari pengabdian Ananda. Rasanya tiadalah dapat Ananda menemukan kata-kata yang tepat untuk mengucapkan terima kasih atas segala do'a restu, kasih sayang, dukungan moril dan materil yang tidak ada putus-putusnya dalam mendidik dan membesarkan Ananda sampai pada penyelesaian studi.

2. Kakanda Auliati Nisa, S.T. sebagai inspirasi nomor satu dari penulis hingga akhirnya berkuliah di Fakultas Teknik. Terima kasih atas segala dukungan moril maupun materil yang diberikan kepada penulis agar tetap semangat dan dapat menyelesaikan studi.
3. Teman-teman 'Taman Bunga' yang selalu ada di segala kondisi yang penulis alami. Tidak henti memberikan semangat, dorongan, dan motivasi untuk selalu tumbuh dan berkembang bersama. Terkhusus kepada saudari Nisa dan Nuaz yang selama penelitian berlangsung selalu menemani penulis. Semoga kebaikan teman-teman semua diberikan balasan terbaik oleh Allah sebagai Dzat yang dengan kehendak-Nya lah semua dapat terjadi.
4. ZHBD LFD'19 yang menjadi penyemangat di sela-sela kesibukan masing-masing dalam perkuliahan. Terkhusus kepada saudara Arya yang banyak sekali membantu dalam proses penelitian ini, khususnya pada bidang Teknik Elektro yang juga menjadi bagian penting dalam penelitian. Terima kasih atas waktu, ilmu, dan tenaga yang diberikan hingga akhirnya penelitian ini dapat dilakukan.
5. Kanda Ir. Sutami Suparmin, S.T. sebagai peneliti sebelumnya yang juga mengangkat topik yang sama. Terima kasih atas ilmu dan masukan yang telah diberikan kepada penulis sejak awal penelitian.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2019 yang selama penulis berkuliah di sini, selalu memberikan *support*, semangat, dan selalu kompak dalam 'ke-bureng-an'. Semoga kita semua dapat sukses di tempat dan waktu yang tepat.
7. Teman-teman 'Unknown' sebagai sahabat penulis sejak SMA yang walaupun sudah terpisah masing-masing, namun tetap memberikan *support* dan do'a baik.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, begitupun dengan proses penelitian yang berlangsung selama ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dengan senang hati akan diterima oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi penulis dan tak terkecuali bagi orang lain pula.



## ABSTRAK

**ASNUL FAUZIA.** *Analisis Potensi Pemanfaatan Slag Nikel sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik* (dibimbing oleh Irwan Ridwan Rahim dan Faizal Arya Samman)

*Slag* nikel adalah residu hasil *smelting* nikel dengan wujud berupa gumpalan logam yang sudah tercampur dengan bahan-bahan lain sehingga sukar dipisahkan. Dalam setiap proses pemurnian satu ton produk nikel akan menghasilkan limbah padat (*slag* nikel) setara dengan 50 kalinya, yaitu 50 ton. Saat ini pemanfaatan *slag* nikel lebih banyak dilakukan sebagai bahan pengganti agregat pada bidang konstruksi. Jika dilihat dari komposisi kimia dari *slag* nikel yang mengandung Mg, Al, Si, Cr, Fe, Ni, Co, dan beberapa elemen lainnya dalam ukuran kecil. Elemen ini juga ditemukan pada baterai nikel metal hydride (Ni-MH), baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable*) dan lebih ramah lingkungan. Baterai Ni-MH mengandung logam dengan rata-rata kandungan 30% Ni, 4% Co, dan 10% *light rare earths*. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian ‘Analisis Potensi Pemanfaatan *Slag* Nikel sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik’ dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah : (1) menganalisis nilai potensi *slag* nikel dalam menghasilkan energi listrik; (2) menganalisis rasio pemanfaatan *slag* nikel dalam menghasilkan energi listrik; (3) menganalisis kelayakan *slag* nikel sebagai bahan pembuatan baterai.

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental. *Slag* nikel akan dimanfaatkan menjadi bahan penyusun baterai, yang mana pada penelitian ini akan dilakukan dua eksperimen yaitu menggunakan *slag* nikel sebagai bahan anoda dan sebagai bahan campuran larutan elektrolit. Pada eksperimen pertama akan digunakan dua variasi larutan elektrolit yaitu KOH dan NaOH. Adapun pada eksperimen kedua terdapat dua jenis variasi yaitu volume larutan sampel dan konsentrasi NaOH. Setiap sel disusun pada wadah baterai berukuran 5 cm x 2 cm x 8 cm dengan katoda berupa lempeng tembaga (Cu).

Dari penelitian didapatkan hasil bahwa pada eksperimen pertama dengan memanfaatkan *slag* nikel sebagai bahan anoda tidak terdapat aliran listrik sehingga nilai tegangan dan kuat arus yang terukur sama dengan nol. Adapun pada eksperimen kedua sel baterai yang menghasilkan tegangan tertinggi adalah sel baterai keempat dengan variasi larutan sampel 10 mL dan konsentrasi NaOH 15%. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan yang dihasilkan pada baterai adalah 6,60 V dan kuat arus 0,03 A dan setelah pengecasan tegangannya bertambah menjadi 8,80 V dan kuat arus 0,15 A.

Kata Kunci: *Slag* Nikel, Baterai *slag* nikel, Alternatif Energi, Pemanfaatan Limbah



## ABSTRACT

**ASNUL FAUZIA.** *Analysis of the Potential Utilization of Nickel Slag as an Alternative Source of Electrical Energy* (supervised by Irwan Ridwan Rahim and Faizal Arya Samman)

Nickel slag is the residue produced from the smelting of nickel, presenting itself as a metal clump that is mixed with other materials, making it difficult to separate. In every purification process of one ton of nickel product, it results in solid waste (nickel slag) equivalent to 50 times its weight, which is 50 tons. Currently, nickel slag is primarily utilized as a substitute aggregate material in the construction industry.

When looking at the chemical composition of nickel slag, it contains small amounts of Mg, Al, Si, Cr, Fe, Ni, Co, and several other elements. These elements are also found in nickel-metal hydride (Ni-MH) batteries, which are rechargeable batteries and considered more environmentally friendly. Ni-MH batteries typically contain an average of 30% Ni, 4% Co, and 10% light rare earth elements. This background information led to the research on the 'Analysis of the Potential Use of Nickel Slag as an Alternative Source of Electric Energy.'

The objectives of this research are: (1) to analyze the potential value of nickel slag in generating electric energy; (2) to analyze the utilization ratio of nickel slag in generating electric energy; (3) to analyze the feasibility of nickel slag as a material for battery production.

The research is conducted using an experimental method. Nickel slag will be utilized as a battery component, and the study will conduct two experiments: one using nickel slag as the anode material and the other as a component mixed with the electrolyte solution. The first experiment will employ two variations of the electrolyte solution, namely KOH and NaOH. As for the second experiment, there are two types of variations: the volume of the sample solution and the concentration of NaOH. Each cell is arranged in a battery container measuring 5 cm x 2 cm x 8 cm, with a copper plate (Cu) serving as the cathode.

From the research results, it was found that in the first experiment, using nickel slag as the anode material did not produce any electric current flow, resulting in zero voltage and current readings. In the second experiment, the battery cell that produced the highest voltage was the fourth cell, with a sample solution volume of 10 mL and NaOH concentration of 15%. The measured voltage generated by the battery was 6.60 V, and the current was 0.03 A. After charging, the voltage increased to 8.80 V, and the current became 0.15 A

*Keywords: Nickel Slag, Nickel Slag Battery, Alternative Energy, Waste Utilization*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	2
PERNYATAAN KEASLIAN.....	3
KATA PENGANTAR .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR lampiran.....	xi
DAFTAR SIMBOL DAN ARTI SINGKATAN .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Proses Peleburan Nikel.....	5
2.2 <i>Slag</i> Nikel .....	6
2.3 Dampak <i>Slag</i> Nikel bagi Lingkungan.....	7
2.4 Komponen Baterai .....	9
2.5 Jenis-Jenis Baterai .....	11
2.6 Sel Elektrokimia pada Baterai .....	18
2.7 Karakteristik Tembaga sebagai Katoda.....	23
2.8 Karakteristik Aluminium sebagai Anoda .....	24
2.9 Penelitian Sebelumnya .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	26
3.2 Metode Penelitian .....	28
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	28
3.4 Variabel Penelitian.....	28
3.5 Alat dan Bahan Penelitian .....	29
3.6 Rancangan Penelitian.....	31
3.7 Perlakuan Sampel .....	33
3.8 Pengujian Sampel .....	35
3.9 Analisis Reaksi .....	37
3.10 Analisis Data.....	40
3.11 Penggunaan Arduino IDE.....	41
<b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
Analisis Pengolahan Sampel <i>Slag</i> Nikel .....	43
Analisis Pengujian Tegangan dan Arus Listrik.....	53
Kapasitas dan Densitas Baterai dengan Daya Tertinggi.....	78



4.4	Pembahasan .....	79
4.5	Rasio Pemanfaatan <i>Slag</i> Nikel Menjadi Baterai.....	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		88
5.1	Kesimpulan.....	88
5.2	Saran .....	89
DAFTAR PUSTAKA .....		90
LAMPIRAN .....		94



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur sel baterai kering .....	12
Gambar 2 Struktur sel baterai alkalin.....	13
Gambar 3 Struktur sel baterai merkuri.....	13
Gambar 4 Bagian-bagian baterai Nikel Metal Hidrida .....	14
Gambar 5 Bagian-bagian baterai Nikel Kadmium.....	16
Gambar 6 Bagian-bagian baterai Litium-Ion .....	17
Gambar 7 Bagian-bagian baterai Litium Polimer .....	18
Gambar 8 Rangkaian sel Volta dan reaksinya .....	19
Gambar 9 Rangkaian sel elektrolisis dan reaksinya.....	21
Gambar 10 Skema reaksi pada katoda sel elektrolisis .....	22
Gambar 11 Skema reaksi pada katoda sel elektrolisis .....	23
Gambar 12 Diagram alir penelitian teknik pemanfaatan yang pertama.....	26
Gambar 13 Diagram alir penelitian teknik pemanfaatan yang kedua .....	27
Gambar 14 Lokasi Pengambilan Sampel Slag Nikel .....	31
Gambar 15. Rancang bangun sel baterai.....	32
Gambar 16 (a) tampak depan rancang bangun sel baterai; (b) tampak belakang rancang bangun sel baterai; (c) tampak samping rancang bangun sel baterai .....	32
Gambar 17 Skema pengujian tegangan dan arus baterai dengan anoda slag nikel menggunakan microcontroller.....	36
Gambar 18 Skema pengujian tegangan dan arus baterai dengan slag nikel sebagai bahan campuran larutan elektrolit menggunakan microcontroller.....	37
Gambar 19 Slag Nikel sebelum diolah.....	43
Gambar 20 Slag Nikel setelah digiling menggunakan grinder .....	44
Gambar 21 Slag Nikel ukuran 50 mesh .....	44
Gambar 22 Larutan sampel slag nikel yang telah dipanaskan .....	45
Gambar 23 Campuran larutan sampel slag nikel dengan larutan NaOH .....	46
Gambar 24 Hasil penyaringan padatan yang terbentuk dari campuran larutan slag nikel dan larutan NaOH.....	46
Gambar 25 Hasil pengeringan padatan sampel .....	47
Gambar 26 Sampel yang telah dihaluskan dan dicampur dengan binder .....	47
Gambar 27 Sampel yang telah direkatkan pada stainless mesh.....	48
Gambar 28 Larutan elektrolit variasi 1 (larutan sampel slag nikel 20 ml dan larutan NaOH 30%).....	49
Gambar 29 Larutan elektrolit variasi 1 (larutan sampel slag nikel 20 ml dan larutan NaOH 30%) setelah didiamkan selama 2 jam.....	49
Gambar 30 Larutan elektrolit variasi 2 (larutan sampel slag nikel 10 ml dan larutan NaOH 30%).....	50
31 Larutan elektrolit variasi 2 (larutan sampel slag nikel 10 ml dan larutan NaOH 30%) setelah didiamkan selama 2 jam.....	50
32 Larutan elektrolit variasi 3 (larutan sampel slag nikel 20 ml dan larutan NaOH 15%).....	51



Gambar 33 Larutan elektrolit variasi 3 (larutan sampel slag nikel 20 ml dan larutan NaOH 15%) setelah didiamkan selama 2 jam.....	51
Gambar 34 Larutan elektrolit variasi 4 (larutan sampel slag nikel 10 ml dan larutan NaOH 15%).....	52
Gambar 35 Larutan elektrolit variasi 4 (larutan sampel slag nikel 10 ml dan larutan NaOH 15%) setelah didiamkan selama 2 jam.....	52
Gambar 36 Perbandingan semua sampel larutan elektrolit setelah didiamkan beberapa saat .....	53
Gambar 37 Susunan sel baterai dengan sampel slag nikel sebagai andoa .....	54
Gambar 38 Hasil pembacaan tegangan dan arus pada sel baterai dengan sampel slag nikel sebagai anoda.....	54
Gambar 39 Proses pengujian kuat arus dan tegangan pada baterai pada sel baterai dengan larutan elektrolit volume sampel slag nikel 20 mL dan konsentrasi NaOH 30% .....	55
Gambar 40 Grafik nilai tegangan pada sel baterai pertama sebelum dan setelah pengecasan .....	56
Gambar 41 Grafik nilai kuat arus pada sel baterai pertama sebelum dan setelah pengecasan .....	56
Gambar 42 Grafik nilai rata-rata daya pada sel baterai pertama.....	59
Gambar 43 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai pertama sebelum dilakukan pengecasan .....	59
Gambar 44 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai pertama setelah dilakukan pengecasan.....	60
Gambar 45 Proses pengujian kuat arus dan tegangan pada baterai pada sel baterai dengan larutan elektrolit volume sampel slag nikel 10 mL dan konsentrasi NaOH 30% .....	60
Gambar 46 Grafik nilai tegangan pada sel baterai kedua sebelum dan setelah pengecasan .....	61
Gambar 47 Grafik nilai kuat arus pada sel baterai kedua sebelum dan setelah pengecasan .....	61
Gambar 48 Grafik nilai rata-rata daya pada sel baterai kedua.....	64
Gambar 49 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai kedua sebelum dilakukan pengecasan .....	64
Gambar 50 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai kedua setelah dilakukan pengecasan.....	65
Gambar 51 Proses pengujian kuat arus dan tegangan pada baterai pada sel baterai dengan larutan elektrolit volume sampel slag nikel 20 mL dan konsentrasi NaOH 15% .....	65
Gambar 52 Grafik nilai tegangan pada sel baterai ketiga sebelum dan setelah pengecasan .....	66
53 Grafik tegangan dan kuat arus pada sel baterai ketiga sebelum pengecasan .....	66
54 Grafik nilai rata-rata daya pada sel baterai ketiga.....	69
55 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai ketiga sebelum dilakukan pengecasan .....	69



Gambar 56 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan baterai pada sel baterai ketiga setelah dilakukan pengecasan.....	70
Gambar 57 Proses pengujian kuat arus dan tegangan pada baterai pada sel baterai dengan larutan elektrolit volume sampel slag nikel 10 mL dan konsentrasi NaOH 15% .....	71
Gambar 58 Grafik nilai tegangan pada sel baterai keempat sebelum dan setelah pengecasan .....	71
Gambar 59 Grafik nilai kuat arus pada sel baterai keempat sebelum dan setelah pengecasan .....	72
Gambar 60 Grafik nilai rata-rata daya pada sel baterai keempat.....	74
Gambar 61 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai keempat sebelum dilakukan pengecasan .....	75
Gambar 62 Grafik nilai tegangan, kuat arus, dan daya pada sel baterai keempat setelah dilakukan pengecasan.....	75
Gambar 63 Grafik perbandingan nilai tegangan pada ke empat sel baterai sebelum pengecasan .....	76
Gambar 64 Grafik perbandingan nilai tegangan pada ke empat sel baterai setelah pengecasan .....	76
Gambar 65 Grafik perbandingan nilai kuat arus pada ke empat sel baterai sebelum pengecasan .....	77
Gambar 66 Grafik perbandingan nilai kuat arus pada ke empat sel baterai sebelum pengecasan .....	77
Gambar 67 Perbandingan rata-rata nilai daya pada ke enam sel baterai dari dua eksperimen .....	79
Gambar 68 Sel baterai dengan menggunakan anoda dari hasil pengolahan slag nikel.....	80
Gambar 69 Sel baterai pertama setelah dilakukan pengecasan.....	83
Gambar 70 Sel baterai kedua setelah dilakukan pengecasan .....	84



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kandungan slag hasil produksi feronikel PT. Antam (Persero).....	7
Tabel 2 Kandungan slag hasil produksi feronikel dari beberapa perusahaan di Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara .....	7
Tabel 3 Variabel penelitian eksperimen pertama dengan pemanfaatan slag nikel sebagai bahan anoda .....	28
Tabel 4 Variabel penelitian eksperimen pertama dengan pemanfaatan slag nikel sebagai bahan anoda .....	29
Tabel 5 Hasil pengukuran tegangan dan kuat arus listrik pada sel baterai pertama, sebelum dan setelah pengecasan .....	57
Tabel 6 Hasil pengukuran tegangan dan kuat arus listrik pada sel baterai kedua sebelum dan setelah pengecasan .....	62
Tabel 7 Hasil pengukuran tegangan dan kuat arus listrik pada sel baterai ketiga, sebelum dan setelah pengecasan .....	67
Tabel 8 Hasil pengukuran tegangan dan kuat arus listrik pada sel baterai keempat, sebelum dan setelah pengecasan .....	72
Tabel 9 Rekapitulasi nilai tegangan dan kuat arus awal pengukuran pada sel baterai dengan slag nikel sebagai campuran larutan elektrolit .....	78
Tabel 10 Nilai daya sel baterai.....	78



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Kegiatan .....	95
Lampiran 2. Susunan Sensor Pengukuran Tegangan Dan Arus .....	100



## DAFTAR SIMBOL DAN ARTI SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Ni	Nikel
Fe	Besi
Zn	Seng
Li	Litium
K	Kalium
Ba	Barilium
Sr	Stronsium
Ca	Kalsium
Na	Natrium
La	Lantanum
Ce	Serium
Mg	Magnesium
Lu	Lutesium
Al	Aluminium
Mn	Mangan
Cr	Krom
Cd	Kadmium
Co	Kobalt
Sn	Timah
Pb	Timbal
H	Hidrogen
Sb	Antimon
Bi	Bismut
Cu	Tembaga
Hg	Raksa
Ag	Perak
	Emas
	Silikon Dioksida
	Kalsium Oksida



Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
MgO	Magnesium Oksida
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kromium (III) Oksida
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminium Oksida
NiO	Nikel (II) Oksida
FeO	Besi (II) Oksida
MnO <sub>2</sub>	Mangan Dioksida
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mangan (III) Oksida
H <sub>2</sub> O	Air
HgO	Raksa (II) Oksida
ZnO	Seng Oksida
Ni(OH) <sub>2</sub>	Nikel (II) Hidroksida
Cd(OH) <sub>2</sub>	Kadmium Hidroksida
Fe(OH) <sub>2</sub>	Besi (II) Hidroksida
LiCoO <sub>2</sub>	Litium Kobalt Oksida
NaOH	Natrium Hidroksida
KOH	Kalium Hidroksida
HCl	Hidrogen Klorida
NaCl	Natrium Klorida
NiCl <sub>2</sub>	Nikel (II) Klorida
FeCl <sub>2</sub>	Besi (II) Klorida
SiCl <sub>4</sub>	Silikon Tetraklorida
CaCl <sub>2</sub>	Kalium Klorida
MgCl <sub>2</sub>	Magnesium Diklorida
CrCl <sub>3</sub>	Kromium (III) Klorida
AlCl <sub>3</sub>	Aluminium Klorida
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Sodium Metasilikat
Ca(OH) <sub>2</sub>	Kalsium Hidroksida
Mg(OH) <sub>2</sub>	Magnesium Hidroksida
	Kromium (III) Hidroksida
	Aluminium Hidroksida
	Besi (III) Oksida Hidroksida



---

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Ah/g	Ampere jam/gram
Ah/cm <sup>3</sup>	Ampere jam/cm <sup>3</sup>
mA	Mili Ampere
mW	Mili Watt
mAh	Mili Ampere Jam

---



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Nikel adalah salah satu hasil tambang yang dapat ditemukan di alam bebas dan merupakan salah satu unsur logam. Berdasarkan PP No. 27 Tahun 1980 tentang Penggolongan Bahan-Bahan Galian, nikel termasuk bahan galian golongan A, di mana bahan galian ini cukup strategis dan memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi. Pemanfaatan nikel saat ini banyak dijumpai sebagai bahan baku produksi dalam beberapa kegiatan industri seperti pembuatan koin, kawat, campuran besi baja, *stainless steel*, dan masih banyak lagi. Untuk menghasilkan logam nikel dengan tingkatan tertentu sesuai standar, maka harus dilakukan proses *smelting* terlebih dahulu untuk memurnikan nikel.

Dalam proses *smelting* nikel, akan dihasilkan limbah padat yang disebut *slag* nikel. *Slag* nikel ini adalah residu dengan wujud berupa gumpalan logam yang sudah tercampur dengan bahan-bahan lain sehingga sukar dipisahkan. Karenanya, *slag* nikel ini tidak dapat digunakan kembali. Secara fisik, bentuk dari *slag* nikel ini menyerupai agregat baik yang halus menyerupai pasir maupun yang kasar menyerupai krikil. *Slag* terbentuk setelah terjadinya proses peleburan logam dengan suhu tinggi yang mengakibatkan mineral silika, potas, dan soda menggumpal membentuk *slag* (Rembah, R., dkk., 2021).

Berdasarkan penelitian Mangolo, M.A. dkk. (2021) yang melakukan analisis pencemaran limbah *slag* nikel terhadap air dan tanah di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara, didapatkan hasil bahwa keberadaan perusahaan *smelter* nikel telah mempengaruhi kualitas tanah di kecamatan tersebut. Terbukti dengan kadar logam Ni, Co, dan Fe yang telah melampaui nilai ambang batas dan menunjukkan adanya masalah lingkungan yang berpotensi menimbulkan permasalahan.

Pada proses pemurnian nikel, *slag* nikel yang dihasilkan lebih besar daripada nikel yang didapatkan. Menurut Sukarman, dkk. (2022) dalam setiap pemurnian satu ton produk nikel akan menghasilkan limbah padat (*slag*) setara dengan 50 kalinya, yaitu 50 ton. Dari data Kementerian Perindustrian menunjukkan bahwa industri nikel di Indonesia memproduksi 2,4 juta ton



per tahun *nickel pig iron* dan menghasilkan tiga belas juta ton *slag* per tahun. Volume timbunan limbah *slag* nikel akan terus meningkat seiring waktu ditambah lagi jika jumlah perusahaan *smelter* nikel juga ikut bertambah. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022), saat ini di Indonesia sudah terdapat 15 perusahaan *smelter* nikel. Karenanya Indonesia disebut sebagai raja nikel dunia dengan menguasai 20 persen ekspor bijih nikel dunia. Kondisi ini tentu berbanding lurus dengan potensi *slag* nikel yang akan dihasilkan. Hanya saja saat ini mayoritas perusahaan tidak melakukan pengolahan terhadap limbah *slag* nikel dan hanya menyimpan limbah ini pada *landfill*. Selebihnya sudah ada perusahaan yang melakukan pengolahan dengan memanfaatkan kembali *slag* nikel menjadi bahan baku konstruksi, namun masih pemanfaatan internal dan dalam jumlah kecil. Salah satu perusahaan yang telah melakukan pengolahan *slag* adalah PT. Aneka Tambang Tbk, yaitu memanfaatkan *slag* nikel sebagai batako dan *paving block*, serta sebagai pengganti agregat (pasir dan kerikil). Hanya saja persentase pemanfaatan *slag* nikel hanya 0,01% dibandingkan *slag* nikel yang dihasilkan (Media Nikel Indonesia, 2021).

Sebelumnya, *slag* nikel dikategorikan sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yaitu Kategori Bahaya 2 dari Sumber Spesifik. Namun setelah diterbitkannya PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *slag* nikel telah dikecualikan sebagai Limbah B3. Dengan demikian, proses pemanfaatan *slag* nikel dapat lebih luas dan mudah baik pemanfaatan internal maupun eksternal dari perusahaan.

Saat ini, pemanfaatan *slag* nikel banyak digunakan sebagai bahan pengganti agregat dalam kegiatan konstruksi. Namun, dengan dikeluarkannya *slag* nikel dari Limbah B3 harusnya dapat menjadi peluang bagi perusahaan untuk memperluas pemanfaatan *slag* nikel. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Rahim, I.R., et al., 2022), didapatkan hasil bahwa *slag* nikel berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber energi alternatif yaitu sebagai media baterai elektroit. Hal ini dikarenakan, komposisi kimia dari *slag* nikel yang masih mengandung Mg, Al, Si,

i, Co, dan beberapa elemen lainnya dalam ukuran kecil. Elemen ini juga n pada baterai *nickel metal hydride* (Ni-MH), baterai yang dapat diisi (*chargeable*) dan lebih ramah lingkungan. Baterai Ni-MH mengandung



logam dengan rata-rata kandungan 30% Ni, 4% Co, dan 10% *light rare earths* (Shin, S.M., et al., 2015).

PT. Huadi Nickel Alloy Indonesia merupakan salah satu perusahaan *smelter* nikel yang berlokasi di Kabupaten Bantaeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Perusahaan ini merupakan perusahaan *ferronickel* pertama di Sulawesi Selatan. PT. Huadi Nickel Alloy Indonesia memiliki kapasitas produksi 50.000 ton / tahun dengan *slag* nikel yang dihasilkan mencapai dua juta ton per tahun (Azikin, I., 2022 dalam Hasanuddin, M., 2022). Hanya saja, sampai saat ini PT. Huadi Nickel Alloy belum melakukan pengolahan terhadap *slag* nikel dan hanya disimpan pada *landfill* yang disediakan. Oleh karena itu, melihat potensi pemanfaatan *slag* nikel yang dihasilkan oleh PT. Huadi Nickel Alloy sehingga dipandang perlu untuk melakukan penelitian terkait Analisis Potensi Pemanfaatan *Slag* Nikel sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah potensi *slag* nikel dalam menghasilkan energi listrik dilihat dari nilai tegangan, kuat arus, dan daya yang dihasilkan?
2. Berapa besar rasio pemanfaatan *slag* nikel dalam menghasilkan energi listrik?
3. Apakah *slag* nikel layak untuk dijadikan sebagai bahan pembuatan baterai?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini:

1. Menganalisis nilai potensi *slag* nikel dalam menghasilkan energi listrik
2. Menganalisis rasio pemanfaatan *slag* nikel dalam menghasilkan energi listrik
3. Menganalisis kelayakan *slag* nikel sebagai bahan pembuatan baterai.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah:



Memberikan informasi terkait salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengolah limbah *slag* nikel.

2. Memberikan informasi terkait komposisi sel baterai yang paling sesuai dalam pembuatan baterai menggunakan limbah *slag* nikel.
3. Meningkatkan atensi perusahaan untuk memanfaatkan limbah *slag* nikel yang dihasilkan.
4. Mewujudkan penerapan konsep *Waste to Energy* di Indonesia.

## 1.5 Ruang Lingkup

Untuk mempermudah memahami isi dari penelitian ini, berikut adalah ruang lingkup yang menjadi batasan penelitian "Analisis Potensi Pemanfaatan *Slag* Nikel sebagai Alternatif sumber Energi Listrik" :

1. *Slag* nikel yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari unit *furnace* dari PT. Huadi Nickel Alloy Indonesia yang berlokasi di Jl. Poros Bantaeng-Bulukumba, Dusun Mawang, Desa Papanloe, Kecamatan Pajukukang, Kabupaten Bantaeng, Sulawesi Selatan.
2. Metode yang digunakan yaitu Eksperimental Kuantitatif yang menghasilkan data dari pengamatan hasil eksperimen.
3. Penelitian ini hanya berfokus pada pemanfaatan *slag* nikel sebagai bahan anoda dan larutan elektrolit dari baterai dengan larutan elektrolit yang sama pada anoda dan katoda.
4. Sebelum menentukan bahan yang akan dicampurkan untuk mengolah *slag* nikel, terlebih dahulu dilakukan analisis reaksi dengan berdasar kepada kandungan *slag* nikel dari beberapa referensi hasil pengujian kandungan senyawa/unsur pada *slag* nikel hasil produksi *ferronickel*.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Proses Peleburan Nikel

Keberadaan nikel di alam dapat dijumpai dalam dua jenis yaitu nikel laterit atau biasa juga disebut nikel oksida dan nikel sulfida. Nikel laterit umumnya ditemukan pada negara-negara yang berada di khatulistiwa, sedangkan nikel sulfida umumnya ditemukan pada negara dengan iklim subtropis (Prasetyo, P., 2016). Saat ini, cadangan nikel dunia yang terbesar adalah jenis nikel laterit yaitu sebesar 72% dan sisanya adalah jenis nikel sulfida. Namun, saat ini 58% produksi nikel menggunakan jenis nikel sulfida dan 42% menggunakan jenis laterit (Dalvi, 2004 dalam Setiawan, I., 2016).

Dalam proses ekstraksi bijih nikel laterit terdapat dua metode yang umumnya digunakan, yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi.

#### 1. Metode Pirometalurgi

Metode pirometalurgi (*smelting*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengolah mineral dengan menggunakan suhu tinggi yang diperoleh dari hasil pembakaran batu bara pada tanur. Nikel yang lebih sesuai untuk diolah dengan metode ini adalah jenis nikel laterit dengan kandungan nikel yang tinggi yaitu Saprolit (>2%). Umumnya metode ini digunakan dalam proses produksi *ferronickel*, *nickel matte*, atau *nickel pig iron* (Kyle, 2010 dalam Siregar, N.K., 2017)

Berikut ini adalah beberapa tahapan utama dalam proses ekstraksi biji nikel menggunakan metode pirometalurgi (Setiawan, 2016):

- a. Pengerinan (*drying*), keberadaan bijih nikel yang banyak ditemukan pada daerah dengan iklim tropis menyebabkan kandungan kelembaban pada bijih nikel sangat tinggi sehingga diperlukan proses pengerinan.
- b. Kalsinasi-reduksi, air bebas dan air kristal yang tersisa pada bijih nikel dieliminasi dengan cara pemanasan awal dan mereduksi sebagian besar unsur



el.

*ctric furnace smelting*, mereduksi sisa nikel serta memisahkan feronikel i *slag* sebagai hasil sampingnya.

d. *Refining*, pemurnian pada produk hasil akhir dengan mengeliminasi unsur-unsur minor yang masih melekat.

## 2. Metode Hidrometalurgi

Metode hidrometalurgi adalah salah satu metode ekstraksi bijih nikel yang dilakukan dengan cara pelindian menggunakan bantuan bahan kimia pada temperatur rendah (Siregar, N.K., 2017). Menurut Bahfie F., dkk (2021) pelindian pada proses hidrometalurgi dapat berupa pelindian asam tanpa tekanan, pelindian asam bertekanan, dan pelindian asam secara bertumpuk.

Terdapat tiga tahapan dalam proses hidrometalurgi, yaitu sebagai berikut (Smirnov, 1997 dalam Siregar, N.K., 2017) :

- a. *Leaching*, pengikisan logam menggunakan reduktan organik.
- b. Pemekatan larutan hasil dari proses *leaching* beserta pemurniannya.
- c. *Recovery*, pengambilan logam dari larutan hasil *leaching*.

## 2.2 Slag Nikel

*Slag* nikel adalah paduan logam yang merupakan produk samping dari proses pirometalurgi pada pengolahan bijih nikel. Produk samping ini dapat dikategorikan sebagai limbah jika tidak diolah atau dimanfaatkan kembali (Majalis, A.N., dkk., 2020). Sebelumnya, *slag* nikel dikategorikan sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) berdasarkan PP No. 101 Tahun 2014 yaitu kategori bahaya dua dari Sumber Spesifik. Namun setelah diterbitkannya PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *slag* nikel telah dikecualikan sebagai Limbah B3 dan menjadi Limbah Non B3 terdaftar.

Secara fisik, *slag* nikel berbentuk menyerupai agregat halus. *Slag* nikel ada yang berbentuk halus menyerupai pasir dan ada yang kasar menyerupai krikil. *Slag* ini terbentuk akibat terjadinya penggumpalan mineral potas, silika, dan soda dalam proses peleburan logam nikel setelah melalui proses yang menggunakan suhu tinggi (Rembah, R., dkk., 2021). *Slag* nikel masih mengandung beberapa logam dasar khususnya seperti nikel, kobalt, dan tembaga. Oleh karena itu, diperlukan cara yang



; dan efektif untuk membersihkan terak dan memulihkan nilai logam (F., et al., 2015). Berdasarkan bentuknya, *slag* nikel terdiri atas tiga jenis ; *medium*, dan *high slag*. *Slag* nikel dikategorikan *low* dan *medium* jika

diperoleh lewat tungku pembakaran (*furnace*), sedangkan jika diperoleh dari proses pemurnian pada *converter* maka dikategorikan *high slag* (Mustika, W., dkk., 2016).

Dari hasil analisa laboratorium yang dilakukan pada *slag* nikel PT. Antam Pomalaa, berikut adalah kandungan dari *Slag* hasil produksi feronikel

Tabel 1 Kandungan *slag* hasil produksi feronikel PT. Antam (Persero)

No.	Komposisi <i>Slag</i>	Besaran (%)
1	Ni	0,08
2	Fe	9,97
3	SiO <sub>2</sub>	53,88
4	CaO	1,36
5	MgO	32,37
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,95
7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,35
8	BC	0,62

Sumber : PT. Antam (persero) Tk. UPN Sultra (2018) dalam Rembah, R., dkk. (2021)

Berdasarkan data pada tabel di atas, dapat diketahui kandungan dominan *slag* nikel adalah Silika (SiO<sub>2</sub>), Magnesia (MgO), dan Besi (Fe).

Selain data di atas, berikut juga adalah data kandungan *slag* nikel dari hasil produksi *ferronickel* berdasarkan penelitian dari Baharuddin, I. I., dkk. (2021) di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara yang bersumber dari beberapa perusahaan *smelter* nikel di Pomalaa.

Tabel 2 Kandungan slag hasil produksi feronikel dari beberapa perusahaan di Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara

No.	Unsur	% Unsur	Senyawa	% Senyawa
1	Magnesium	15,74	MgO	28,86
2	Aluminium (Al)	3,00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,95
3	Silicon	15,84	SiO <sub>2</sub>	43,25
4	Calcium (Ca)	0,57	CaO	1,45
5	Chromium (Cr)	0,51	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,76
6	Iron (Fe)	5,01	FeO	16,37
7	Nickel (Ni)	0,14	NiO	0,47
8	Oxygen (O)	58,95	-	0
9	Mangan (Mn)	0,10	MnO	0,32
10	Sulfur (S)	0,16	SO <sub>3</sub>	0,57

Sumber : Baharuddin, I. I., dkk. (2021)

### 2.3 Dampak *Slag* Nikel bagi Lingkungan



yang dihasilkan dari proses peleburan bijih nikel berupa *slag* yang sangat besar. *Slag* ini membutuhkan penanganan dan juga pemanfaatan kukan dengan benar karena berpotensi untuk menimbulkan permasalahan

lingkungan. Kegiatan industri peleburan bijih nikel juga berpotensi untuk menghasilkan beberapa kategori limbah padat, diantaranya: *Slag*, hasil proses produksi; *Slurry* dan *Sludge*, hasil pengolahan air limbah industri; Debu, hasil pengolahan buangan gas/emisi udara (Ibrahim, M.M., dkk., 2019).

Limbah *slag* ini umumnya dikumpulkan pada sebuah lahan (*landfill*) dan disimpan begitu saja sampai adanya upaya pengolahan. Jumlah *slag* yang terus bertambah dapat berpotensi merusak lahan penampungan *slag*. Apabila kondisi ini terus dibiarkan, *slag* akan mengalami oksidasi, saat terkena hujan akan menghasilkan air lindi yang mengandung unsur-unsur logam berat seperti kromium yang merupakan unsur beracun. Selain beberapa hal di atas, limbah padat yang dihasilkan dari industri peleburan nikel juga berpotensi memberikan dampak, yaitu sebagai berikut (Ibrahim, M.M., dkk., 2019) :

1. Dapat merusak struktur tanah karena tidak dapat terurai sendiri, yang berdampak langsung ataupun kumulatif terhadap manusia, tumbuhan, maupun hewan.
2. Sumber air yang rusak dan menyebabkan kematian pada ikan serta merusak ekosistem air.
3. Menimbulkan iritasi mata, gangguan pernafasan, serta gangguan pada saraf manusia.
4. Peningkatan *leaching* kation tanah, berpengaruh pada produktivitas hutan dan fiksasi nitrogen.

Berdasarkan penelitian Mangolo, M.A., dkk. (2021) yang melakukan analisis pencemaran limbah *slag* nikel terhadap air dan tanah di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara, didapatkan hasil bahwa keberadaan perusahaan *smelter* nikel telah mempengaruhi kualitas tanah di kecamatan tersebut. Terbukti dengan kadar logam Ni, Co, dan Fe yang telah melampaui nilai ambang batas dan menunjukkan adanya masalah lingkungan yang berpotensi menimbulkan permasalahan.



## 2.4 Komponen Baterai

Secara umum, baterai tersusun atas tiga komponen utama yaitu anoda, katoda dan larutan elektrolit. Berikut adalah penjelasan terkait masing-masing komponen tersebut.

### 2.4.1 Anoda

Pada sel elektrokimia terdapat dua jenis material penghantar (konduktor listrik) yaitu anoda dan katoda yang disebut elektroda. Anoda adalah jenis elektroda dimana ion-ion bermuatan negatif (anion) dioksidasi oleh elektron pada anoda (Samsudin dan Yohannes, 2021). Proses oksidasi pada sel elektrokimia terjadi apabila (Rakhmadasari, R., 2007) :

- a. Terjadi pelepasan elektron pada suatu zat
- b. Terjadi penambahan bilangan oksidasi pada suatu unsur
- c. Terjadi pada anoda

### 2.4.2 Katoda

Katoda adalah jenis elektroda tempat terjadinya reduksi, ion-ion bermuatan positif (katoda) bergerak ke katoda sehingga terjadi penambahan bilangan oksidasi (Samsudin dan Yohannes, 2021). Proses reduksi pada sel elektrokimia terjadi apabila (Rakhmadasari, R., 2007) :

- a. Suatu zat menerima elektron
- b. Terjadi penurunan bilangan oksidasi pada suatu unsur
- c. Terjadi pada katoda

### 2.4.3 Elektrolit

Dalam proses elektrokimia, energi listrik dapat dihasilkan dari dua elektroda dengan perbedaan beda potensial yang dihubungkan oleh bahan elektrolit. Elektrolit sebagai media penghantar menjadi tempat terjadinya proses serah terima elektron (Mukminin, G.A., dkk., 2017). Elektrolit dapat dibedakan menjadi cair dan elektrolit padat (Riyanto, B., dkk., 2011). Larutan elektrolit asikan menjadi tiga jenis yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit in larutan non elektrolit. Pada larutan elektrolit kuat proses serah terima berlangsung cepat hal ini disebabkan oleh adanya ion-ion terlarut yang



berperan sebagai penghantar arus listrik. Sedangkan larutan elektrolit lemah lambat dalam proses serah terima elektron, hal ini dikarenakan ion-ion pada larutan elektrolit lemah cenderung terionisasi sebagian. Adapun pada larutan non elektrolit tidak terjadi proses serah terima elektron (Mukminin, G.A., dkk., 2017).

Pada elektrolit terjadi reaksi kimia dengan laju reaksi yang berbeda-beda. Laju reaksi atau yang biasa disebut juga dengan kecepatan reaksi adalah nilai perubahan konsentrasi produk ataupun pereaksi per satu satuan waktu. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi (Keenan, dkk., 1984 dalam Lestari, D., 2020). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju reaksi diantaranya adalah temperatur, luas permukaan, katalis, dan konsentrasi (Rinaldi, R.S., dkk., 2020).

#### 1. Konsentrasi pereaksi

Untuk berbagai reaksi dengan melibatkan zat cair dan gas, laju reaksi akan meningkat seiring dengan konsentrasi pereaksi yang meningkat. Ketika salah satu partikel adalah larutan dan satunya adalah benda padat atau kedua partikel adalah larutan maka partikel-partikel tersebut harus bertumbukan. Apabila konsentrasi larutan tinggi maka kemungkinan terjadinya tumbukan semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan maka semakin cepat reaksi berlangsung (Petrucci, 2000 dalam Wahyudi, W., 2017).

#### 2. Luas permukaan sentuh

Luas permukaan suatu zat mempengaruhi kecepatan reaksinya. Hal ini berlaku jika reaksi melibatkan zat padat. Pada campuran heterogen, reaksi terjadi pada bidang sentuh. Semakin halus ukuran zat padat, maka dapat dikatakan permukaannya semakin luas. Dan jika luas permukaan semakin besar maka semakin cepat pula reaksinya (Petrucci, 2000 dalam Wahyudi, W., 2017).

#### 3. Suhu

Apabila suatu reaksi dinaikkan suhunya, maka menyebabkan semakin aktifnya partikel bergerak. Hal ini menyebabkan tumbukan semakin sering terjadi sehingga laju reaksi semakin besar. Adapun jika suhu larutan diturunkan akan menyebabkan laju reaksi semakin kecil, oleh karena partikel semakin tidak aktif

, 2000 dalam Wahyudi, W., 2017).



#### 4. Katalisator

Katalisator adalah zat yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi tanpa mengalami perubahan. Penambahan katalis berperan untuk mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi atau yang biasa disebut energi aktivasi. Semakin rendah nilai energi aktivasi maka semakin banyak partikel yang memiliki energi kinetik besar. Hal ini dapat mempengaruhi pertambahan jumlah tumbukan efektif yang menyebabkan laju reaksi bertambah (Petrucci, 2000 dalam Wahyudi, W., 2017).

### 2.5 Jenis-Jenis Baterai

Baterai (akkumulator) merupakan sebuah sel listrik yang dalam penggunaannya terjadi proses elektrokimia secara *reversible* (bolak-balik). Proses elektrokimia yang dimaksud adalah terjadinya perubahan energi kimia menjadi energi listrik yang terjadi pada proses pengosongan baterai dan perubahan energi listrik menjadi energi kimia pada proses pengisian baterai (Afif dan Pratiwi, 2015).

Pada umumnya setiap baterai terdiri atas 3 komponen yaitu elektroda positif (katoda), elektroda negatif (anoda), dan larutan penghantar yang biasa disebut larutan elektrolit. Energi listrik yang dihasilkan dari baterai disebabkan oleh adanya transfer elektron dari dua elektroda (positif dan negatif) yang bersifat konduktor sehingga menghasilkan arus listrik dan beda potensial (tegangan). Prinsip kerja baterai memanfaatkan reaksi reduksi-oksidasi, pada anoda akan berlangsung reaksi oksidasi yang menyebabkan elektron pada anoda terlepas dan dibawa oleh ion elektrolit menuju katoda (Ristiono, A., 2021). Secara umum, baterai terdiri atas dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder.

#### 2.5.1 Baterai primer

Baterai primer adalah jenis baterai yang sifatnya sekali pakai atau disebut juga *disposable*. Baterai primer lebih sering ditemukan di pasaran karena bernilai ekonomis tinggi. Baterai primer terdiri dari beragam ukuran D,C,AA, dan AAA

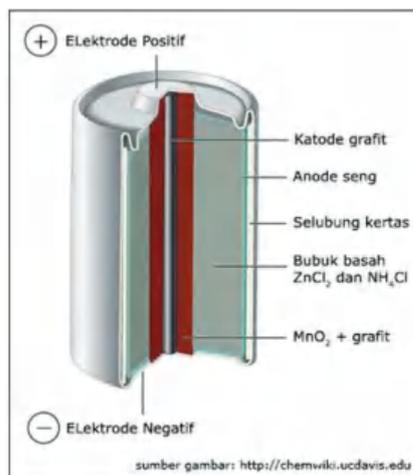


tegangan yang umumnya sebesar 1,5 volt. Selain itu juga terdapat baterai yang memiliki tegangan 6 volt dan 9 volt yang biasanya berbentuk kotak. Baterai primer diantaranya adalah baterai alkalin, baterai *zinc-carbon*,

baterai litium, dan baterai *silver oxide* (Susanto dan Kristiningrum, 2019). Berikut ini adalah beberapa penerapan sel Volta dalam kehidupan (Margono, N.M., 2019):

### 1. Baterai sel kering karbon seng

Sel kering karbon ditemukan oleh Georges Leclanche (1839-1882). Sel ini terdiri atas larutan elektrolit berupa pasta yang merupakan campuran dari  $MnO_2$ ,  $NH_4Cl$  dan sedikit air, dengan batang karbon sebagai katoda, dan logam seng sebagai anoda.



Gambar 1 Struktur sel baterai kering  
Sumber : Margono, N.M. (2019)

Adapun reaksi yang terjadi pada baterai sel kering karbon ini adalah :

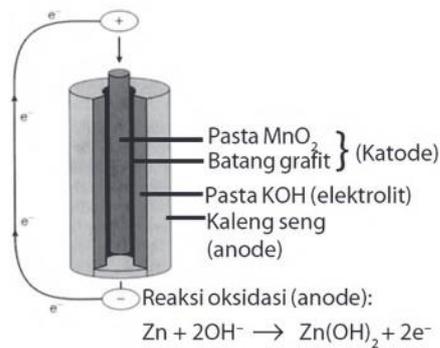
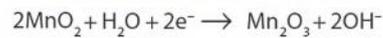


### 2. Baterai alkalin

Baterai alkalin merupakan penyempurnaan dari baterai kering biasa, dengan menghasilkan energi dua kali lebih besar yaitu 1,5 volt. Penyempurnaan ini dilakukan dengan mengganti larutan elektrolit, yaitu mengganti  $NH_4Cl$  menggunakan  $KOH$  atau  $NaOH$ . Pada baterai alkalin, katoda yang digunakan adalah  $MnO_2$  dan anodanya menggunakan logam seng.

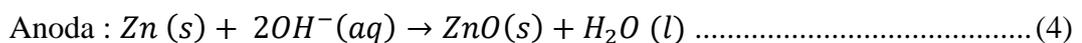
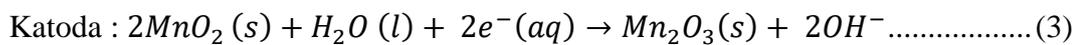


Reaksi reduksi(katode):



Gambar 2 Struktur sel baterai alkalin  
 Sumber : Margono, N.M. (2019)

Adapun reaksi yang terjadi pada baterai alkalin ini adalah :



### 3. Baterai Merkuri

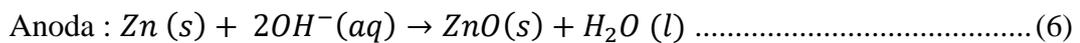
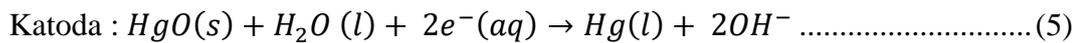
Baterai merkuri adalah jenis baterai yang menggunakan Zn sebagai anoda dan HgO dan karbon sebagai katoda. Jenis elektrolit yang digunakan adalah KOH. Dibandingkan dengan baterai jenis lainnya, baterai merkuri memiliki ukuran yang lebih kecil namun dengan potensial baterai 1,34 V.



Gambar 3 Struktur sel baterai merkuri  
 Sumber : Margono, N.M. (2019)



Adapun reaksi yang terjadi pada baterai alkalin ini adalah :

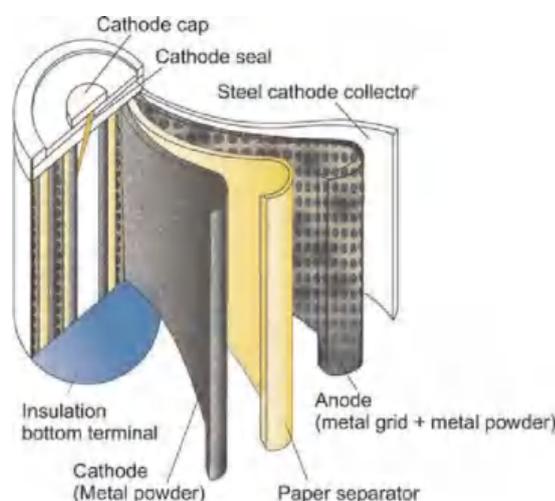


### 2.5.2 Baterai sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berulang kali karena daya listriknya dapat diisi ulang. Baterai ini memiliki sel elektrokimia, di mana proses kimia yang terjadi dapat berlaku bolak-balik atau *reversible*. Dengan pengisian sel, bahan aktif pada baterai dapat kembali seperti kondisi semula (Afif dan Pratiwi, 2015). Jenis-jenis baterai sekunder sangat beragam, begitu pula dengan yang beredar di pasaran. Beberapa di antaranya adalah sebagai berikut :

#### 1. Baterai Nikel Metal Hidrida (Ni-MH)

Baterai Ni-MH adalah jenis baterai yang lebih ramah lingkungan dan lebih terjangkau. Untuk menyimpan energi, baterai ini menggunakan ion hidrogen. Bukan hanya tersusun atas logam nikel, baterai ini juga mengandung komponen logam lainnya seperti aluminium, mangan, kobalt, vanadium, dan zirconium. Fungsi dari logam-logam ini adalah untuk menangkap ion hidrogen yang dilepaskan agar tidak mencapai fasa gas (Afif dan Pratiwi, 2015).



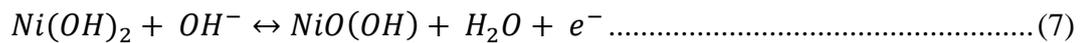
Gambar 4 Bagian-bagian baterai Nikel Metal Hidrida

Sumber : Lin, S., et al. (2016)



reaksi yang terjadi pada baterai Nikel Metal Hidrida adalah sebagai berikut:

Reaksi pada anoda (*reversible*) :



Reaksi pada katoda (*reversible*) :



Setiap baterai memiliki kelebihan dan kekurangan, berikut ini adalah kelebihan dari baterai Ni-MH (Afif dan Pratiwi, 2015) :

- a. Memiliki kapasitas cukup besar, yaitu kurang lebih 30%-40% lebih tinggi dibandingkan baterai lainnya
- b. Baterai Ni-MH kurang rentan terhadap efek memori sehingga lebih minim perawatan
- c. Lebih ramah lingkungan.

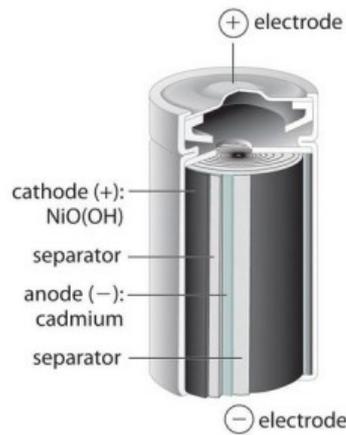
Adapun kekurangan dari baterai Ni-MH adalah sebagai berikut :

- a. Memiliki *limited service life*, jika dilakukan pengisian daya dalam waktu lama dapat mengurangi *service life*-nya
- b. Biaya pembuatan cukup mahal
- c. Tidak menyerap *over charge* dengan baik.

## 2. Baterai Nikel Kadmium (Ni-Cd)

Baterai Nikel Kadmium adalah salah satu jenis baterai isi ulang yang menggunakan nikel hidroksida ( $\text{Ni(OH)}_2$ ) sebagai katoda dan kadmium (Cd) sebagai anoda, serta Kalium Hidroksida sebagai elektrolit. Baterai ini memiliki teknologi yang dirancang dengan matang dan memiliki waktu penggunaan yang lama. Karena ketahanannya, baterai ini dapat diisi dengan waktu yang singkat namun menghasilkan *rate* yang tinggi.

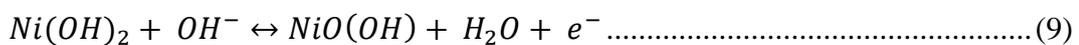




Gambar 5 Bagian-bagian baterai Nikel Kadmium  
 Sumber : Neils, T. (2023)

Adapun reaksi yang terjadi pada sel baterai Ni-Cd adalah sebagai berikut (Galushkin, N.E., et al., 2016):

Reaksi pada anoda :



Reaksi pada katoda :

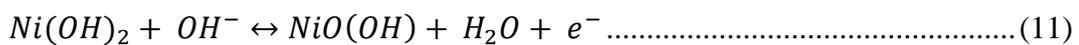


3. Baterai Nikel Besi (Ni-Fe)

Baterai Nikel Besi atau disebut juga *Nickel Iron* adalah salah satu jenis baterai isi ulang yang memiliki biaya pembuatan yang rendah dan keamanan yang tinggi dalam pengaplikasian penyimpanan energi. Baterai ini tersusun atas anoda yang menggunakan logam besi (Fe) dan katoda nikel hidroksida (Ni(OH)<sub>2</sub>). Penggunaan Fe sebagai anoda menyebabkan kapasitas dan kepadatan energi pada baterai lebih rendah, sehingga kinerja proses elektrokimianya juga lebih rendah (Yang et al., 2020).

Adapun reaksi yang terjadi pada sel baterai Ni-Fe adalah sebagai berikut:

Reaksi pada katoda :

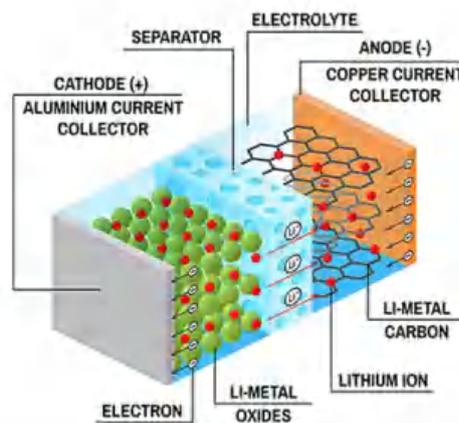


Reaksi pada anoda :



Baterai Litium Ion (Li-Ion)  
 Baterai Litium Ion atau *Lithium-Ion Battery* memiliki empat bagian utama: elektroda negatif (anoda), elektroda positif (katoda), elektrolit, dan separator.

Jenis baterai ini dapat menyimpan energi listrik dalam jangka waktu yang panjang, salah satu alasannya karena kualitas dari bahan elektroda (Perdana, F.A., 2020). Menurut Afif dan Pratiwi (2015), ion litium bergerak dari anoda ke katoda saat dilepaskan dan saat diisi ulang akan kembali. Baterai Li-ion menggunakan bahan senyawa litium interkalasi pada elektroda, hal ini yang membedakan dengan baterai litium non-isi ulang yang menggunakan litium metalik.



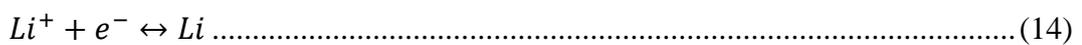
Gambar 6 Bagian-bagian baterai Litium-Ion  
 Sumber : Chapman, B. (2019)

Adapun reaksi yang terjadi pada sel baterai Li-ion adalah sebagai berikut :

Reaksi pada anoda :



Reaksi pada katoda :



Berikut ini adalah beberapa kelebihan yang dimiliki oleh Baterai Litium-Ion (Afif dan Pratiwi, 2015) :

- a. Baterai Li-ion lebih ringan dibandingkan dengan baterai isi ulang lainnya
- b. Dapat menyimpan banyak energi di dalamnya, karena memiliki kepadatan energi yang tinggi
- c. Biaya yang dikeluarkan untuk baterai Li-ion hanya sebesar 5% per bulannya.

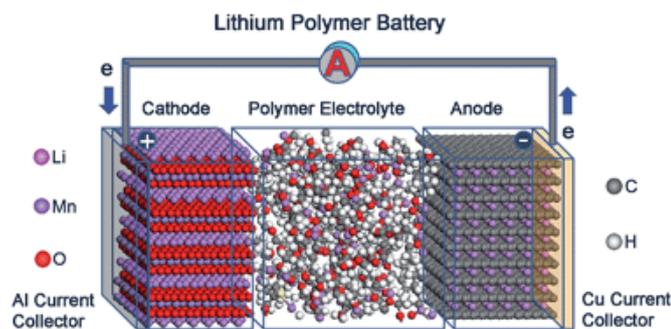
Adapun kekurangan dari baterai ini adalah :



miliki *life time* yang pendek yaitu 2 hingga 3 tahun setelah pembuatan sensitif terhadap suhu tinggi sehingga dapat mengalami degradasi jika terkena suhu panas

- c. Baterai Li-ion hancur jika benar-benar sudah habis.
5. Baterai Litium Polimer (Li-Po)

Tidak jauh berbeda dengan baterai Litium Ion, baterai Litium Polimer juga memiliki susunan yang sama. Hanya saja, baterai Li-Po tidak menggunakan elektrolit dalam bentuk cairan melainkan menggunakan polimer kering yang berbentuk seperti lapisan film tipis. Lapisan film ini kemudian dibuat berlapis-lapis di antara anoda dan katoda sehingga menyebabkan terjadinya pertukaran ion.



Gambar 7 Bagian-bagian baterai Litium Polimer  
Sumber : Long,L., et al. (2016)

Berikut ini adalah beberapa kelebihan yang dimiliki oleh Baterai Litium-Ion (Afif dan Pratiwi, 2015) :

- a. Dapat dibuat dalam berbagai ukuran serta memiliki massa yang lebih ringan
- b. Kapasitas baterai lebih besar
- c. Laju *discharge* yang jauh lebih tinggi.

Adapun kekurangan dari baterai ini adalah :

- a. Memiliki *life time* yang pendek, rata-rata hanya 300-400 siklus jika baterai dirawat dengan baik
- b. Sifat sensitif dan kimia pada baterai berpotensi menyebabkan kebakaran
- c. Membutuhkan perawatan khusus dalam penyimpanan dan pembuangannya.

## 2.6 Sel Elektrokimia pada Baterai

Elektrokimia adalah salah satu ilmu kimia yang mencakup tentang perpindahan elektron pada sebuah media penghantar listrik (elektroda). Dasar dari konsep kimia ini adalah reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit penghantar. Reaksi redoks adalah reaksi yang terjadi di mana proses dan proses reduksi terjadi secara bersamaan. Pada reaksi oksidasi terjadi



proses pelepasan elektron sehingga elektron berkurang adapun pada reaksi reduksi terjadi penangkapan elektron sehingga elektron bertambah. Untuk mendukung proses elektrokimia ini, dibutuhkan media penghantar berupa larutan elektrolit sebagai tempat terjadinya serah terima elektron. Terdapat dua jenis larutan elektrolit yaitu larutan elektrolit kuat dan larutan elektrolit lemah. Larutan elektrolit kuat sangat cocok digunakan karena larutan ini mengandung ion-ion terlarut yang sangat baik dalam menghantarkan listrik (Harahap, M.R., 2016).

Sel elektrokimia terdiri atas sel Volta dan sel elektrolisis, berikut adalah penjelasannya :

### 2.6.1 Sel Volta

Sel Volta merupakan sel elektrokimia dengan reaksi kimia yang berlangsung spontan dalam menghasilkan energi listrik. Sel Volta juga biasa disebut sel galvani, berasal dari gabungan nama ilmuwan Alexander Volta dan Luigi Galvani pada tahun 1786 yang menemukan baterai dari cairan garam. Anoda dan katoda pada sel Volta dicelupkan pada larutan elektrolit yang terhubung dengan jembatan garam. Jembatan garam berfungsi sebagai pemberi suasana netral dari kedua larutan yang menghantarkan listrik (Harahap, M.R., 2016). Berikut ini adalah gambar sederhana rangkaian sel Volta dan reaksinya :



Gambar 8 Rangkaian sel Volta dan reaksinya  
Sumber: Neils, T. (2023)



nilihan larutan elektrolit pada sel Volta harus mengikuti kaidah deret ar listrik yang dihasilkan melalui reaksi kimia yang spontan. Sel Volta

dibedakan menjadi tiga jenis yaitu sel Volta primer, sel Volta sekunder, dan sel Volta bahan bakar. Sel Volta primer adalah sel Volta yang hanya sekali pakai dan reaksinya *irreversible*, contohnya baterai kering. Sel Volta sekunder adalah sel Volta yang dapat diisi ulang dan reaksinya *reversible*, contohnya baterai aki. Adapun sel Volta bahan bakar adalah sel Volta yang tidak dapat diisi ulang namun tidak habis, contohnya bahan bakar pesawat ruang angkasa (Harahap, M.R., 2016).

Suatu sel volta dapat dinyatakan dengan suatu notasi yang disebut diagram sel. Sebelum membuat suatu diagram sel, terlebih dahulu harus diketahui logam-logam yang bertindak sebagai anoda dan katoda. Berikut ini adalah kaidah penulisan notasi struktur sel elektrokimia (Margono, N.M., 2019) :

1. Diagram sel terdiri atas anoda dan katoda.
2. Untuk memisahkan anoda dan katoda diberi tanda || sebagai jembatan garam.
3. Untuk memisahkan fase berbeda diberi tanda | sebagai batas fase.
4. Untuk memisahkan spesi-spesi dalam fase yang sama diberi tanda koma (,).
5. Dalam penulisan, anoda terletak di kiri dan katoda terletak di kanan.
6. Elektroda inert tidak ditulis.

Arus listrik dapat mengalir dari anoda ke katoda karena adanya perbedaan energi potensial di kedua elektroda tersebut. Analoginya seperti air yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang rendah karena adanya perbedaan energi potensial gravitasi (Sukmawati, W., 2020). Untuk mengetahui nilai potensial sel, terlebih dahulu harus diketahui nilai potensial elektrodanya. Potensial elektroda adalah nilai potensial listrik pada permukaan elektroda. Potensial elektroda juga merupakan perbedaan potensial dari kedua setengah sel dari sel volta. Potensial elektroda tidak dapat diukur langsung, melainkan dibutuhkan elektroda pembanding yaitu hidrogen ( $H_2$ ) yang diberi harga potensial sel sama dengan nol (Margono, N.M., 2019).

Dengan mengukur potensial listrik yang timbul akibat penggabungan dua setengah sel maka akan didapatkan nilai potensial sel. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai potensial sel listrik (Margono, N.M., 2019):



$$E^o_{katoda} - E^o_{anoda} \dots\dots\dots \text{Persamaan 1}$$

$E^o_{sel}$  positif atau  $E^o_{sel} > 0$  maka reaksi dapat berlangsung. Sebaliknya,  $E^o_{sel} < 0$  maka reaksi tidak dapat berlangsung (Margono, N.M., 2019).

Suatu unsur logam dapat disusun berdasarkan kemampuan reduksinya. Urutan ini dinamakan deret Volta. Berikut adalah urutan deret Volta :

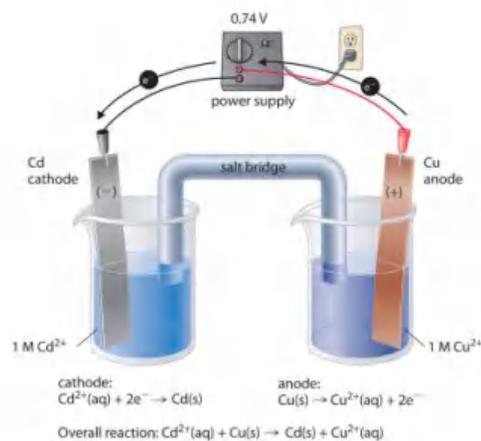
Li – K – Ba – Sr – Ca – Na – La – Ce – Mg – Lu – Al – Mn – (H<sub>2</sub>O) – Zn- Cr – Fe – Cd – Co – Ni – Sn – Pb – H – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Au

Berdasarkan deret Volta di atas, dari kiri ke kanan semakin mudah ter-reduksi. Sebaliknya, dari kanan ke kiri semakin mudah ter-oksidasi (Margono, N.M., 2019).

## 2.6.2 Sel elektrolisis

Sel elektrolisis adalah salah satu jenis sel elektrokimia yang dalam mengubah reaksi kimia yang terjadi menggunakan sumber energi listrik. Berbeda dengan sel volta, pada sel elektrolisis katoda memiliki muatan negatif sedangkan anoda memiliki muatan positif. Listrik dialirkan dari kutub negatif baterai menuju katoda. Setelah itu, larutan akan mengalami ionisasi sehingga terbentuk kation dan anion. Kation di katoda mengalami reduksi dan di anoda akan mengalami oksidasi (Harahap, M.R., 2016).

Jika pada sel Volta terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan berlangsung secara spontan, berbeda halnya dengan sel Elektrolisis. Pada sel Elektrolisis, energi listrik diubah menjadi energi kimia dan reaksi berlangsung secara tidak spontan (Margono, N.M., 2019).



Gambar 9 Rangkaian sel elektrolisis dan reaksinya

Sumber: Neils, T. (2023)

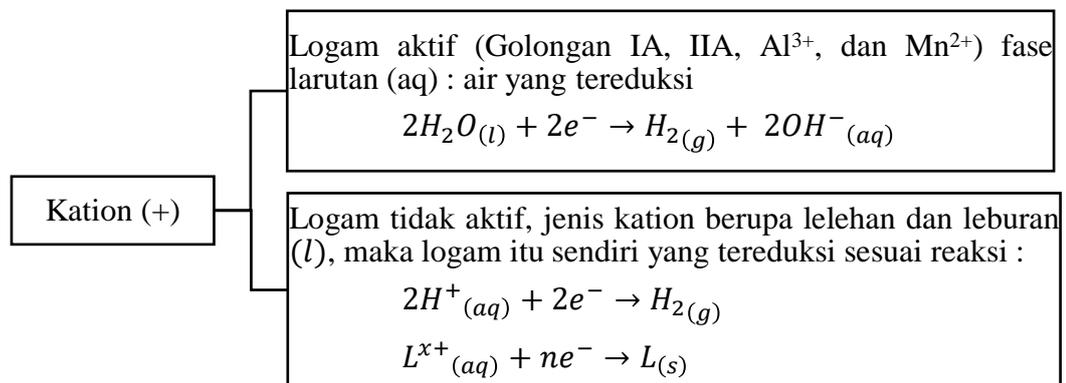


katoda dihubungkan dengan kutub negatif dan anoda dihubungkan dengan kutub positif dari sumber arus listrik. Elektron dari sumber arus listrik dialirkan ke katoda yang selanjutnya ditangkap oleh kation (ion positif) sehingga pada

permukaan katoda terjadi reduksi pada kation. Pada saat yang sama, anion (ion negatif) melepaskan elektron dan dialirkan melalui anoda menuju sumber listrik (Margono, N.M., 2019).

Reaksi pada sel elektrolisis berlangsung kompleks karena spesi yang bereaksi dapat berupa kation, anion, air, atau elektrodanya. Pada katoda, spesi yang mengalami reduksi adalah spesi yang mempunyai potensial elektroda lebih positif. Sedangkan pada anoda, spesi yang mengalami oksidasi adalah spesi dengan potensial elektroda lebih negatif. Pada anoda, dapat pula digunakan elektroda inert yaitu elektroda yang tidak terlibat dalam reaksi (Margono, N.M., 2019).

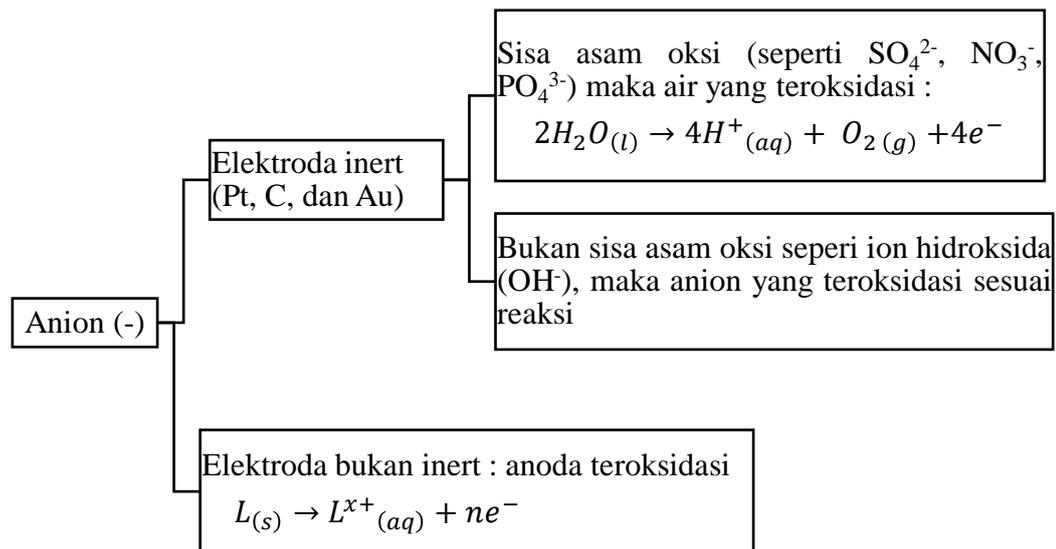
Berikut ini adalah skema yang menunjukkan reaksi yang terjadi pada katoda dari sel elektrolisis.



Gambar 10 Skema reaksi pada katoda sel elektrolisis  
Sumber : Margono, N.M. (2019)

Berikut adalah, skema yang menunjukkan reaksi yang terjadi pada anoda dari sel elektrolisis.





Gambar 11 Skema reaksi pada katoda sel elektrolisis  
Sumber : Margono, N.M. (2019)

## 2.7 Karakteristik Tembaga sebagai Katoda

Tembaga merupakan salah satu unsur yang kadang ditemukan secara alami dalam bentuk mineral. Unsur ini dapat ditemukan pada hampir 250 mineral tetapi hanya sedikit saja yang komersial. Tembaga terletak pada golongan IB bersama dengan emas dan tembaga. Oleh karena itu, sifat logam-logam ini juga hampir sama. Tembaga disimbolkan dengan atom Cu dengan nomor atom 29 (Indonesianto, Y., dkk., 2019).

Tembaga memiliki warna kuning kemerah-merahan dan bersifat lunak dan mudah ditempa. Karenanya, tembaga sering dijumpai sebagai bahan baku pembuatan kabel, pipa, maupun kawat (Wicaksono, K.D., 2019). Selain itu, tembaga juga mempunyai sifat menghantarkan listrik dan panas dengan baik. Oleh karena itu, tembaga digunakan secara luas dalam industri peralatan listrik. Tembaga mempunyai sistem kristal kubik. Unsur ini mempunyai berat jenis sebesar 8,9 dan kekerasannya 3 skala Mohs. Pada pengoksidaan biasa, tembaga termasuk keadaan kuprum (I) yang kurang stabil,  $Cu^+$ ; dan keadaan kuprum (II) yang lebih stabil,  $Cu^{2+}$

anto, Y., dkk., 2019).



## 2.8 Karakteristik Aluminium sebagai Anoda

Aluminium merupakan salah satu jenis logam yang berwarna putih keperakan dan banyak ditemukan pada kerak bumi. Unsur ini adalah unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, persentasenya mencapai 8,07% - 8,23% dari keseluruhan massa padat di kerak bumi. Sifatnya yang reaktif, membuat aluminium sulit ditemukan dalam bentuk murni di alam (Zakaria, 2018).

Aluminium memiliki kapasitas energi sebesar 2,98 Ah/g, sementara seng sebesar 0,82 Ah/g, magnesium 2,20 Ah/g dan litium 3,86 Ah/g. Massa atom aluminium adalah 26,98 g. Adapun jika dilihat dari volume, aluminium memiliki kapasitas energi 8,04 Ah/cm<sup>3</sup>, seng 5,85 Ah/cm<sup>3</sup>, magnesium 3,83 Ah/cm<sup>3</sup>, dan litium 2,06 Ah/cm<sup>3</sup>. Aluminium merupakan salah satu bahan anoda yang mempunyai kapasitas energi yang cukup besar dan keberadaannya melimpah serta harganya relatif murah (Li, 2001 dalam Zakaria, 2018).

## 2.9 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian terdahulu dalam usaha memanfaatkan material dan atau sumber elektrolit yang terdapat bebas di alam menjadi sebuah sumber energi dalam bentuk baterai seperti:

1. Pemanfaatan *slag* nikel menjadi campuran larutan elektrolit baterai

Penelitian ini dilakukan oleh Suparmin, S. (2020) dengan memanfaatkan *slag* nikel yang bersumber dari PT. Vale Indonesia TBK. *Slag* nikel yang digunakan hanya melalui penghalusan hingga berukuran 200 *mesh* lalu selanjutnya dicampurkan pada larutan elektrolit yang divariasikan menjadi tiga jenis yaitu menggunakan air destilasi, NaOH dan HCl. Sampel *slag* nikel diambil dari 5 titik *sampling* yang berbeda dan masing-masing akan diuji dengan variasi ketiga jenis larutan elektrolit tadi. Hasil dari penelitian ini adalah jenis elektrolit yang paling sesuai untuk ditambahkan pada *slag* nikel adalah Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi sebesar 5%. Tegangan rata-rata tertinggi yang dihasilkan sebesar 0,93 Volt sampai dengan 1.28 Volt, dan Arus rata-rata tertinggi yang dihasilkan mencapai 19.7 mili Amper sampai dengan 57.3 mili Ampere.



2. Pemanfaatan kulit nanas menjadi *bio battery* dengan memvariasikan jenis elektroda

Saat ini sudah banyak penelitian yang menggunakan limbah kulit buah sebagai bahan pembuatan *bio battery*. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Pohan, 2021) yang menggunakan kulit nanas. Limbah kulit nanas terlebih dahulu dihaluskan kemudian diperas serta disaring, cairan hasil perasan inilah yang selanjutnya akan digunakan sebagai larutan elektrolit pada baterai, dari hasil penelitian, pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang paling besar yaitu 1,58 V; 0,26 mA; 0,41 mW pada volume 250 ml, dibandingkan dengan pasangan elektroda Cu-Fe dan Cu-Al

3. Pemanfaatan air laut sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan aluminium sebagai anoda

Pemanfaatan air laut sebagai sumber energi listrik sudah banyak diteliti karena kandungan air laut yang baik dalam menghantarkan listrik. Penelitian yang dilakukan oleh Zakaria (2018) ini menggunakan aluminium sebagai anoda dan memvariasikan ukuran sel dan jumlah anoda. Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan aluminium sebagai anoda untuk energi listrik alternatif dengan pemanfaatan air laut sebagai larutan elektrolit dapat menghasilkan tegangan dan arus. Sehingga, aluminium dapat dimanfaatkan sebagai anoda untuk energi listrik alternatif. Dengan dimensi sel 15 cm x 7.5 cm x 20 cm dapat menghasilkan tegangan sebesar 1.42 volt dan arus sebesar 2 ampere.

