

**TUGAS AKHIR**

**STUDI EKSPERIMEN PEMANFAATAN TERAK SEBAGAI SUMBER  
ENERGI ALTERNATIF (STUDI KASUS TERAK PT VALE INDONESIA  
TBK)**



**SUTAMI SUPARMIN**

**D121 15 316**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2020**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

JL. POROS MALINO. KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : **Studi Eksperimen Pemanfaatan Terak Sebagai Sumber Energi Alternatif (Studi Kasus Terak PT. Vale Indonesia Tbk).**

Disusun Oleh :

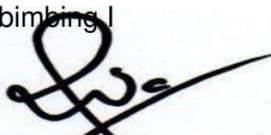
Nama : **Sutami Suparmin**

**D121 15 316**

Telah diperiksa dan disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 27 Juli 2020

Pembimbing I

  
**Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.**  
NIP. 19721119 200121001

Pembimbing II

  
**Prof. Dr. Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.**  
NIP. 197506052002121004

Menyetujui,  
Ketua Departemen Teknik Lingkungan


**Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.**  
NIP. 197204242000122001

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Studi Eksperimen Pemanfaatan Terak sebagai Sumber Energi Alternatif (Studi Kasus Terak PT Vale Indonesia Tbk)”**. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi umat yang membawa manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang S1 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan, nasehat, dan doa dari berbagai pihak yang membuat penulis semangat dan mampu dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.

Terselesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis yakni bapak saya Suparmin dan ibu saya Jubaeda yang tiada hentinya memberikan dukungan, nasehat dan doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah penulis dan yang telah mencurahkan segenap kasih sayang yang tak terbatas serta segala bentuk motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga saat ini.
2. Suterayani Suparmin selaku saudara kandung penulis, Bunda Sari Madaun Panagopolus, Tante Agustina Sigele yang bersedia memberikan bantuan finansial serta dukungan kepada peneliti selama proses penelitian.
3. Bapak Mohammad Zuhair selaku Direktur Yayasan Hadji Kalla yang telah memberikan bantuan finansial kepada peneliti dalam Beasiswa Tugas Akhir Yayasan Hadji Kalla.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, ST., M. Arch., Ph. D., selaku Wakil Dekan dan Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, dan juga selalu memberikan semangat selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir.
8. Kakanda Maharani Hasan, ST serta Bapak Ir. Indin Hasan, ST., MT., IPM., ASEAN Eng sebagai senior yang membantu Pengurusan Proposal Peneliti ke bagian Eksternal Relation PT. Vale Indonesia Tbk.
9. Ibu Lili Nuria Lubis, S.Si., MM., dan Bapak Andi Muhammad Zul, SKM., M.Kes selaku sponsor dari Departemen Energi dan Lingkungan, serta pembimbing peneliti selama proses penelitian di PT. Vale Indonesia.
10. Ibu Jumrawati dan Kak Wiwi Cahyani selaku bagian Eksternal Relation PT Vale Indonesia yang telah banyak membantu dalam pengurusan Penelitian Tugas Akhir.
11. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.
12. Ibu Sumiati dan Kak Olan selaku staf karyawan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang sudah membantu setiap administrasi selama penulis melaksanakan perkuliahan.
13. Pak Syarifuddin selaku laboran laboratorium kualitas air yang telah membantu penulis selama penelitian.
14. Kakanda Ismail, ST., dan Sobat Nurfadila Bataramulam, ST., yang telah mengajarkan dan mengarahkan penulis selama pengerjaan penelitian dan penyusunan tugas akhir.

15. Andi Nur Farahdiba, S.TP., selaku sahabat yang selalu ada menemani, mendukung, dan membantu penulis dalam berbagai kondisi.
16. Teman-teman Laboratorium Sanitasi dan Managemen Persampahan yang telah membantu dalam saran serta konsultasi.
17. Sayyidina Rangga dan Imam Hafidz Imran yang banyak membantu dalam penyelesaian laporan.
18. Teman-teman Teknik Lingkungan 2015 atas segala bantuan, cerita, dan kenangan selama masa perkuliahan.
19. Mentor saya Muhammad Ismail yang telah memberikan bimbingan, ilmu, banyak cerita pengalaman dan membantu meloloskan pada event seperti YSEALI Futurepreneur Bangkok 2020 serta Young Leader for Indonesia 2020.
20. Kepada rekan-rekan dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, penulis ucapkan banya terima kasih atas setiap bantuan serta doa yang diberikan.

Semoga Allah SWT. membalaskan kebaikan mereka semua. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan guna melengkapi segala kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan lingkungan sekitar.

Gowa, April 2020  
Penulis,

**Sutami Suparmin**  
**D121 15 316**

Sutami Suparmin. “*Studi Eksperimen Pemanfaatan Terak sebagai Sumber Energi Alternatif (Studi Kasus Terak PT Vale Indonesia Tbk)*”. (dibimbing oleh Irwan Ridwan Rahim dan Faizal Arya Samman).

## ABSTRAK

Potensi pertambangan Nikel di Indonesia tersebar dari Pulau Sulawesi, Maluku dan Papua dengan sumber daya dan cadangan biji Nikel Laterit sebesar 4.2 milyar ton. Hal ini tentunya akan memberikan dampak positif bagi pertumbuhan ekonomi. Namun, dampak negatifnya adalah dihasilkan limbah dari pengolahan bijih nikel yaitu Terak (*Slag*) dalam jumlah besar dan jika tidak dilakukan pengelolaan dengan baik, maka akan mengancam lingkungan sekitar pertambangan.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah Terak Nikel yang dihasilkan oleh PT. Vale Indonesia Tbk menjadi sebuah produk energy alternatif dalam bentuk baterai dengan metode mengambil sampel Terak dari ke-5 lokasi pada Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Delaney PT Vale Indonesia Tbk. Selanjutnya sampel terak dihaluskan sampai mencapai ukuran 100 mesh dan diberikan 4 perlakuan elektrolit; Kering, Air Distilasi, Hidrogen Klorida (HCl) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Setiap sampel terak yang telah diberikan perlakuan selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah (Sel) dengan ukuran 10 x 10 x 2 sentimeter kemudian memasukkan plat Elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) kepada sisi sel yang berlawanan.

Eksperimen terhadap 20 sel baterai menghasilkan data Tegangan rata-rata tertinggi sebesar 1.28 Volt dengan Arus rata-rata tertinggi sebesar 57.34 mili Amper. Perlakuan yang paling efektif adalah dengan penambahan Natrium Hidroksida (NaOH) ke dalam baterai Terak. Unsur yang berpengaruh dalam menghasilkan Tegangan dan Arus tertinggi adalah Besi (Fe) dan senyawa Oksida Sulfat (Sx). Sel baterai terbukti dapat menyimpan energi listrik sebesar 0.1 – 24 kali Arus dan Tegangan awal melalui proses pengecasan sehingga disimpulkan bahwa baterai Terak dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk alat elektronik berdaya rendah.

**Kata Kunci** : Terak Nikel, Energi Alternatif, Limbah, Baterai Terak, Vale Indonesia

Sutami Suparmin. *“Experimental Study on Utilize Slag as an Alternatives Energy Source (Case Study on Slag of PT Vale Indonesia Tbk). (Under the Advising of Irwan Ridwan Rahim and Faizal Arya Samman).*

## **ABSTRACT**

Indonesia has a big potential on Nickel Mining spread from Celebes, Maluku and Papua with resource in form of Laterite Nickel amount 4.2 Billion Tons. This will certainly have a positive impact on economic growth, but a negatif impact is a Nickel Slag produce in Certain Quantity and without a good management, this will threathening Environment.

This research aims to increase Value Added to Slag produced from PT Vale Indonesia Ltd become an alternative energy source in form of battery with Method took a Slag sample from 5 locations on Temporary Storage Area (TPS) Delaney PT Vale Indonesia Ltd. Next step was to smooth the size near 100 Mesh and the samples added to 4 electrolyte treatment; Dry, Distilled Water, Hydrogen Chloride (HCl), and Sodium Hydroxide (NaOH). Every samples have treatened puted into a cell with dimension 10 x 10 x 2 centimeters and the last, puted Chopper (Cu) and Zinc (Zn) plate as electrode into two opposite sides of the cell.

From experiment result on 20 batteries, the highest average Voltage produced amount 1.28 Volt and the highest average Current amount 57.34 mili Ampher. The best treatment on Slag Battery to produce electricity are from using Sodium Hydroxide (NaOH) as the electrode. Iron (Fe) and Sulfuric Oxide (Sx) are the influential elements to obtain the highest electricity in Slag Battery. Battery cells are proven to be able to store electrical energy by 0.1 - 24 times the initial current and voltage through the charging process, so it can be concluded that the slag battery can be used as an alternative energy source for low-power electronic devices.

**Key Words:** *Nickel Slag, Alternative Energy, Waste, Slag Battery, Vale Indonesia*

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>SAMPUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Ruang Lingkup	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
A. Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia	7
B. Pemanasan Global	7
C. Dampak Negatif Terak Nikel Terhadap Lingkungan	9
D. Konsep Pemanfaatan Limbah menjadi Energi	10
E. Reaksi Reduksi-Oksidasi Baterai	11

1. Reaksi Volta	11
2. Reaksi Elektrolisis	12
F. Berbagai Model Penyimpanan Energi	13
1. Baterai	13
2. Sel Bahan Bakar ( <i>Fuel Cell</i> )	13
3. Kapasitor Elektrokimia	14
G. Proses Pengolahan Nikel	15
H. Pengelolaan Terak PT Vale Indonesia	16
1. Penyaringan ( <i>Skimming</i> )	16
2. Pengangkutan ( <i>Slag Dumping</i> )	16
3. Penuangan ( <i>Pouring</i> )	17
4. Pendinginan	17
5. Pemuatan dan Pengangkutan	18
6. Penumpukan di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS)	18
I. Studi Terdahulu Pemanfaatan Energi Alternatif	19
1. Kulit Pisang dan Durian menjadi Energi Alternatif	19
2. Air Laut menjadi Energi Alternatif	19
3. Tanah Lempung Merah menjadi Energi Alternatif	20

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

A. Metode Penelitian	21
1. Bagan Alur Penelitian	21
2. Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3. Alat dan Bahan	22
B. Rancangan Penelitian	23
1. Penentuan Titik Sampel	23
2. Rancang Bangun	24
3. Perlakuan Sampel	24
C. Analisa Data	26
1. Menguji Besaran Daya dan Potensi Pengisian Ulang	26
2. Analisis Kapasitas dan Densitas dari Sampel Daya Tertinggi	26

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Grafik Tegangan dan Arus Listrik dari Perlakuan Elektrolit	28
1) Sampel Lokasi 1	28
2) Sampel Lokasi 2	30
3) Sampel Lokasi 3	32
4) Sampel Lokasi 4	34
5) Sampel Lokasi 5	36
B. Perbandingan Tegangan dan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel	38
1) Perlakuan Elektrolit Kering	39
2) Perlakuan Elektrolit Air Distilasi	40
3) Perlakuan Elektrolit NaOH	42
4) Perlakuan Elektrolit HCl	44
C. Grafik Perbandingan Listrik Sel Baterai Terak dan Kontrol	46
1) Elektrolit NaOH	46
2) Elektrolit HCl	47
D. Tabel Tegangan dan Arus Listrik Rata-Rata dari 20 Sel Baterai	48
E. Kapasitas dan Densitas dari Sel Dengan Daya Tertinggi	49
F. Pengujian Komposisi Unsur Hasil Perlakuan Elektrolit	51
1) Komposisi Unsur Terak Elektrolit Kering	51
2) Komposisi Unsur Terak Elektrolit Air Distilasi	52
3) Komposisi Unsur Terak Elektrolit HCl	53
4) Komposisi Unsur Terak Elektrolit NaOH	54
G. Analisis <i>Sustainability</i> dan Nilai Ekonomis Baterai	55
H. Potensi Inovaasi dalam Mengurangi Dampak Lingkungan dari Terak	57
I. Pembahasan	58

## **BAB V PENUTUP**

A. Kesimpulan	61
B. Saran	62

**DAFTAR PUSTAKA**

**63**

**LAMPIRAN**

**66**

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Lokasi dan Keterangan Sampel Terak	23
<b>Tabel 2.</b> Tegangan Rata-Rata 20 Sel Baterai Setelah Pelepasan	48
<b>Tabel 3.</b> Arus Rata-Rata 20 Sel Baterai Setelah Pelepasan	49
<b>Tabel 4.</b> Kapasitas dan Densitas dari Sel Baterai Lokasi 2 NaOH	50
<b>Tabel 5.</b> Perhitungan Ekonomis tiap Sel Baterai Terak	56

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Konsentrasi Karbon Dioksida 800 ribu tahun lalu sebelum 1950	8
<b>Gambar 2.</b> Ilustrasi Efek Rumah Kaca	9
<b>Gambar 3.</b> Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA)	11
<b>Gambar 4.</b> Sel Volta/Galvani dan Reaksinya	12
<b>Gambar 5.</b> Reaksi Elektrolisis	13
<b>Gambar 6.</b> Sel Bahan Bakar	14
<b>Gambar 7.</b> Kapasitor Elektrokimia	14
<b>Gambar 8.</b> Penyaringan Terak dari Tungku Listrik	16
<b>Gambar 9.</b> Pengangkutan Terak Cair	16
<b>Gambar 10.</b> Penuangan Terak Cair pada <i>Slag Dump</i>	17
<b>Gambar 11.</b> Pendinginan Terak di <i>Slag Dump</i>	17
<b>Gambar 12.</b> Pengangkutan Terak ke TPS	18
<b>Gambar 13.</b> Lokasi Penumpukan Terak	18
<b>Gambar 14.</b> Rancangan Sel Air dan Pasir Laut	19
<b>Gambar 15.</b> Bagan Alur Penelitian	21
<b>Gambar 16.</b> Lokasi Pengambilan Sampel Terak pada TPS Delaney di Sorowako	23
<b>Gambar 17.</b> Desain Elektroda Lempeng ( <i>Plate Electrode</i> )	24
<b>Gambar 18.</b> Karakteristik Kelistrikan dari Baterai Tanah Merah dengan pencampuran elektrolit Basa (NaOH), Garam (NaCl) dan Asam (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	25
<b>Gambar 19.</b> Desain Pengukuran Arus dan Tegangan Otomatis	27
<b>Gambar 20.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Sebelum Pengecasan	28
<b>Gambar 21.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Setelah Pengecasan	29

<b>Gambar 22.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Sebelum Pengecasan	29
<b>Gambar 23.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Setelah Pengecasan	30
<b>Gambar 24.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Sebelum Pengecasan	30
<b>Gambar 25.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Setelah Pengecasan	31
<b>Gambar 26.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Sebelum Pengecasan	31
<b>Gambar 27.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Setelah Pengecasan	32
<b>Gambar 28.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Sebelum Pengecasan	32
<b>Gambar 29.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Setelah Pengecasan	33
<b>Gambar 30.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Sebelum Pengecasan	33
<b>Gambar 31.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Setelah Pengecasan	34
<b>Gambar 32.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Sebelum Pengecasan	34
<b>Gambar 33.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Setelah Pengecasan	35

<b>Gambar 34.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Sebelum Pengecasan	35
<b>Gambar 35.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Setelah Pengecasan	36
<b>Gambar 36.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Sebelum Pengecasan	36
<b>Gambar 37.</b> Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Setelah Pengecasan	37
<b>Gambar 38.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Sebelum Pengecasan	37
<b>Gambar 39.</b> Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Setelah Pengecasan	38
<b>Gambar 40.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Kering Sebelum Pengecasan	39
<b>Gambar 41.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Kering Setelah Pengecasan	39
<b>Gambar 42.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Sebelum Pengecasan	40
<b>Gambar 43.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Setelah Pengecasan	40
<b>Gambar 44.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Sebelum Pengecasan	41
<b>Gambar 45.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Setelah Pengecasan	41

<b>Gambar 46.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Sebelum Pengecasan	42
<b>Gambar 47.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Setelah Pengecasan	42
<b>Gambar 48.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Sebelum Pengecasan	43
<b>Gambar 49.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Setelah Pengecasan	43
<b>Gambar 50.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Sebelum Pengecasan	44
<b>Gambar 51.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Setelah Pengecasan	44
<b>Gambar 52.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Sebelum Pengecasan	45
<b>Gambar 53.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Setelah Pengecasan	45
<b>Gambar 54.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Sampel 5 Elektrolit NaOH dan Kontrol	46
<b>Gambar 55.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Sampel 5 Elektrolit NaOH dan Kontrol	47
<b>Gambar 56.</b> Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Sampel 5 Elektrolit HCl dan Kontrol	47
<b>Gambar 57.</b> Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Sampel 5 Elektrolit HCl dan Kontrol	48
<b>Gambar 58.</b> Daya Rata-rata dari 20 Sel Baterai	50

<b>Gambar 59.</b> Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 4 Elektrolit Kering	51
<b>Gambar 60.</b> Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 2 Elektrolit Air Distilasi	52
<b>Gambar 61.</b> Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 4 Elektrolit HCl	53
<b>Gambar 62.</b> Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 2 Elektrolit NaOH	54
<b>Gambar 63.</b> Plak Hijau pada Sel Baterai dari Lokasi 2 dengan Elektrolit NaOH	55
<b>Gambar 64.</b> Grafik Penurunan Daya dari Proses Pengecasan Baterai dari Sampel Lokasi 5 Perlakuan NaOH	56

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
1. Dokumentasi Penelitian	77
2. Program Pembaca Tegangan dan Arus Arduino IDE	82
3. SOP dan Data Pengujian ED-XRF	85

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Potensi Pertambangan Nickel di Indonesia tersebar dari pulau Sulawesi, Maluku sampai dengan Papua (Ari, 2019), dengan sumber daya dan cadangan bijih nikel laterit sekitar 4,2 Milyar ton atau sepertiga dari sumber daya nikel laterit dunia yang mencapai 12,5 Milyar ton (Nursahan, et al., 2013). Besarnya potensi ini tentu memberikan dampak positif pada pertumbuhan ekonomi beberapa provinsi khususnya provinsi Sulawesi selatan. Walaupun mampu mendorong potensi perekonomian daerah, aktivitas pertambangan nikel juga menghasilkan produk samping berupa limbah hasil pengolahan nikel yaitu terak (*slag*) yang tergolong sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Ini terjadi karena kandungan nikel dalam umpan biji nikel hanya sebesar 1,8 % sampai 2,0 % (Mustika, et al., 2016). Selain itu, karena pengolahan bijih untuk memperoleh mineral yang dapat dimanfaatkan pada industry pertambangan tidak akan mencapai perolehan (*recovery*) 100%. Hal ini dapat disebabkan oleh kekerasan batuan bijih yang menyebabkan hasil giling cenderung lebih kasar dan mengakibatkan perolehan menurun disertai semakin rendahnya kandungan mineral didalam konsentrat (Pohan, et al., 2007).

Jumlah terak yang dihasilkan dari proses pengolahan nikel bervariasi. Misalnya saja pada PT Aneka Tambang Pomala yang terletak di kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Produksi terak selama kurun waktu periode 2011-2012 sekitar 1 juta ton terak/tahun (Mustika, et al., 2016). Sedangkan PT Vale Indonesia yang terletak di Sorowako, dapat menghasilkan 3.750.000 ton slag per tahun (Jefriyanto, 2018). Jika tidak dikelola dengan baik, maka terak sebagai limbah tambang dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan pertambangan seperti penggunaan *slag dump area* yang luas serta dapat mencemari badan air sekitar *dumpsite* (Rosalina, et al., 2018). Pengelolaan limbah B3 harus menerapkan prinsip minimalisasi

melalui konsep 4R (*Reduce, Reuse, Recycle and Recover*), salah satu bentuk penerapan *recycle* yaitu pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi bahan baku (Perdana dan Sukandar, 2016), seperti menjadikan terak sebagai bahan baku timbunan jalan serta sebagai bahan agregat beton. Setiap industri perlu meningkatkan konsep 4R jika ingin menerapkan bisnis yang berkelanjutan, hal ini juga sesuai pada Peraturan Menteri ESDM No. 26 tahun 2018 pasal 3, salah satu poin yang disinggung adalah setiap perusahaan wajib melakukan pengelolaan lingkungan hidup pertambangan demi mencapai tata kelola pertambangan yang baik.

Selain meningkatkan nilai tambah dengan menjadikan bahan timbunan atau agregat beton, terak atau *slag* memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif dalam bentuk media elektrolit baterai. Hal ini karena terak hasil pengolahan nikel masih mengandung beberapa unsur seperti Mg, Al, Si, Cr, Fe, Ni, Co dan beberapa unsur lainnya dalam jumlah kecil (Juvelyn, et al., 2012), dimana unsur tersebut juga terdapat pada baterai isi ulang jenis *Nickel Metal Hydrite* (Ni-MH) yang terdiri dari campuran logam seperti Titanium, Mangan, Aluminium, Kobalt, Zirconium, dan Vanadium (Afif & Pratiwi, 2015). Sedangkan pada penelitian Pinandita tahun 2016 tentang Baterai yang menggunakan Tanah Lempung Merah (TLM) sebagai elektrolit dapat menghasilkan kapasitas arus sebesar 2,44 Ah serta densitas energi sebesar 1,15 Wh/gram. Setelah pengukuran, ditemukan beberapa unsur yang mendominasi seperti Natrium, Magnesium dan Kalsium (Pinandita, 2016).

Secara umum, proses baterai dalam menghasilkan energi dapat dijelaskan melalui proses kimia yang dinamakan Redoks (Reduksi – Oksidasi). Dalam tanah yang lembab misalnya, dapat bertindak sebagai elektrolit yang menghubungkan kedua elektroda yang berbeda potensial, ion-ion bebas inilah yang ditangkap oleh elektroda (kutub positif dan negatif) sehingga menghasilkan arus listrik dan tegangan bervariasi (Maniyar, et al., 2013).

Dari penjelasan yang telah disampaikan diatas, terdapat banyak kesempatan dan tantangan yang dihadapi dalam mengolah terak yang dihasilkan dari industri pertambangan nikel, khususnya pada PT Vale Indonesia. Salah satu kendalanya

yaitu terak digolongkan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3) dan dianggap sebagai produk yang tidak memiliki nilai ekonomis.

Melihat potensi dan kendala yang dihadapi, peneliti sangat tertarik melakukan sebuah penelitian dalam rangka meningkatkan pemanfaatan dan nilai tambah terak yang dihasilkan dari pengolahan nikel melalui penelitian Tugas Akhir yang berjudul:

***“Studi Eksperimen Pemanfaatan Terak sebagai Sumber Energi Alternatif (Studi Kasus Terak PT. Vale Indonesia Tbk.)”***

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana metode yang dilakukan terhadap terak yang diproduksi oleh PT. Vale Indonesia agar dapat menghasilkan Tegangan dan Arus Listrik dalam bentuk baterai ?
2. Berapa besar Daya, Kapasitas dan Densitas yang dihasilkan dari *prototype* sel baterai dengan Daya Tertinggi ?
3. Apakah *prototype* sel baterai dapat menyimpan energy listrik dari proses pengecasan ?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui metode yang paling efektif dalam menghasilkan baterai yang berasal dari Terak
2. Mendapatkan data tegangan, arus listrik, kapasitas dan densitas yang dihasilkan dari sel baterai dengan daya terbesar.

3. Mengetahui potensi sel baterai dalam menyimpan energi listrik dari proses pengecasan

#### **D. Ruang Lingkup**

Untuk mempermudah memahami skripsi ini, penulis membatasi lingkup permasalahan dalam penelitian "Studi Eksperimen Pemanfaatan Terak PT. Vale Indonesia sebagai Sumber Energi Alternatif" sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada Terak yang dihasilkan oleh PT. Vale Indonesia Tbk. Yang terletak di Sorowako, Sulawesi Selatan.
2. Metode yang digunakan yaitu Eksperimental Kuantitatif yang menghasilkan data dari pengamatan hasil eksperimen.
3. Penelitian ini hanya berfokus pada pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dalam kasus ini Terak PT Vale Indonesia Tbk. menjadi sumber energi alternatif dalam bentuk sel baterai.
4. Penelitian ini hanya berfokus pada penggunaan konfigurasi elektrolit terhadap sampel terak menggunakan elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn).

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan penelitian yang berkontribusi dalam perkembangan energi alternative yang lebih ramah lingkungan khususnya baterai.
2. Berkontribusi dalam peningkatan tata kelola lingkungan PT. Vale Indonesia melalui konsep *waste to energy*.

3. Rancang Bangun yang dihasilkan dapat dikembangkan sehingga diharapkan dapat digunakan oleh masyarakat ataupun diproduksi secara massal.
4. Menghasilkan jurnal ilmiah dengan publikasi Nasional/Internasional yang terakreditasi.

## **F. Sistematika Penulisan**

Penulisan Laporan penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, dimana masing-masing bab membahas muatan tersendiri yang saling terkait satu sama lain, selanjutnya sistematika tugas akhir ini tersusun sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, identifikasi masalah objek tugas akhir, tujuan dan batasan masalah penelitian serta bagaimana sistematika penulisannya.

### **BAB 2 KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan runtutan landasan teori-teori yang bersumber dari penelitian atau karya ilmiah tertentu yang selanjutnya digunakan dalam penelitian ini, bab ini juga memuat beberapa penelitian terkait yang pernah dilakukan.

### **BAB 3 METODELOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini penulis menguraikan tentang rancangan penelitian yang memuat metode-metode, data, peralatan dan waktu kerja serta beberapa item penelitian lainnya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

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

Dalam bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan akhir dari penelitian tugas akhir, pembahasan tersebut menjelaskan antara lain besaran daya yang dihasilkan,

kapasitas dan densitas serta faktor yang berpengaruh pada objek penelitian dalam menghasilkan energi listrik, uraian hasil analisis serta evaluasi penelitian.

## **BAB 5 PENUTUP**

Dalam bab ini berisi uraian inti dari hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya yang merupakan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Selain kesimpulan akhir pada bab ini juga terdapat saran atau rekomendasi yang akan diberikan kepada pihak yang terkait sehubungan dengan isi dari tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Energi baru dan Terbarukan di Indonesia**

Menurut Peraturan Presiden (Perpres) Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Energi baru memiliki pengertian sebagai bentuk energi yang dihasilkan dari teknologi baru baik itu berasal dari energi terbarukan maupun energi tak terbarukan. Contohnya: Hidrogen, *Coal Bed Methane*, *Coal Liquefaction*, *Coal Gasification* dan Nuklir.

Sedangkan Energi Terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan diolah dengan baik antara lain: Panas Bumi, *Biofuel*, Aliran Air Sungai, Panas Surya, Angin, Biomassa, Biogas, Ombak Laut, dan Suhu Kedalaman Laut.

Dari penjelasan yang telah dipaparkan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa energi terbarukan merupakan energi yang memanfaatkan sumber daya alam yang jauh lebih ramah lingkungan dan minim emisi GRK dibanding dengan energi baru atau energi konvensional atau fosil (minyak bumi, batu bara dan gas).

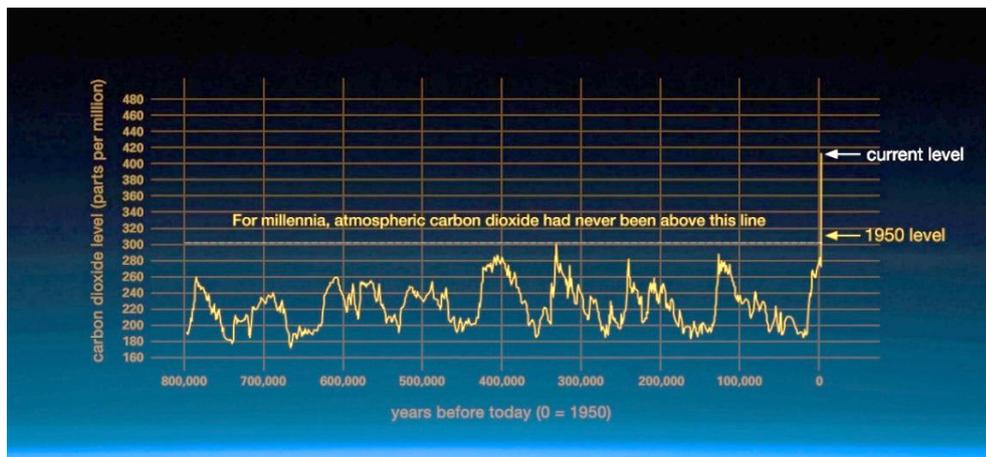
Walaupun memiliki beberapa kelebihan dari sisi lingkungan, namun pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan memiliki beberapa kendala, seperti energi listrik yang dihasilkan cenderung lebih kecil dibanding energi fosil serta sangat dipengaruhi dengan keadaan alam atau cuaca (Liun, 2014).

#### **B. Pemanasan Global**

Global warming merupakan sebuah fenomena yang tidak henti-hentinya diperbincangkan di dunia, meningkatnya suhu bumi secara drastis di berbagai wilayah dengan kenaikan suhu rata-rata 1.1 hingga 6.4°C menurut IPCC (Sulistiyono, 2012).

Berawal saat ditemukannya mesin uap pertamakalinya oleh Thomas Savery di tahun 1650 dan dimutakhirkan oleh James Watt 1736. Penemuan inilah yang mengubah pola ekonomi dunia dari agraris menjadi Era Industri yang bermula di Great Britain abad 18. Terbukti bahwa revolusi Industri pertama di dunia telah mendorong pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi secara besar-besaran.

Dampaknya, terjadi peningkatan secara drastis konsentrasi karbon dioksida di atmosfer sebesar lebih dari 400 ppm pada tahun 1950, dimana hal ini tidak pernah terjadi sebelumnya (NASA, 2019). Dibawah ini merupakan gambar peningkatan karbon dioksida 800.000 tahun sebelum 1950.



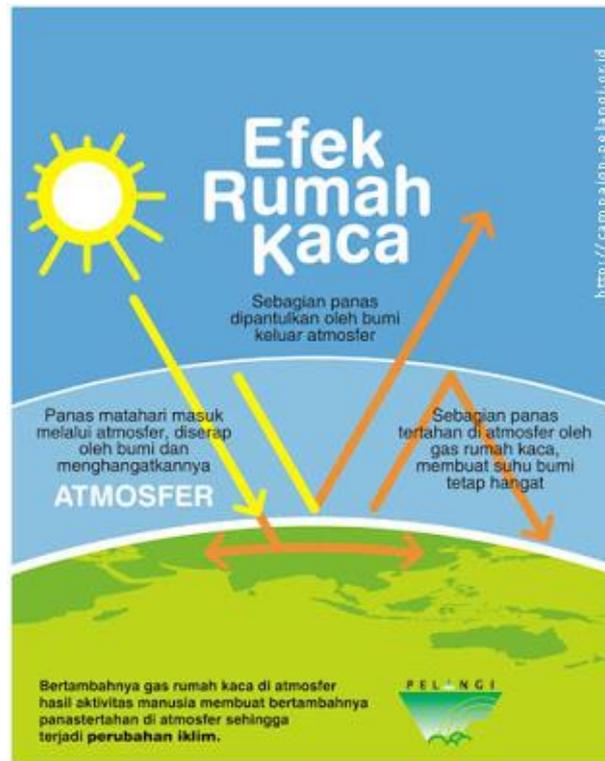
**Gambar 1.** Konsentrasi Karbon Dioksida 800 ribu tahun lalu sebelum 1950

Sumber: (NASA, 2019).

Dua gas yang sangat berpengaruh pada peningkatan suhu bumi yaitu *Carbon Dioxide* (CO<sub>2</sub>) dan *Methane* (CH<sub>4</sub>) melalui proses yang dinamakan Efek Rumah Kaca (Agarwal & Narain, 2003).

Efek Rumah Kaca merupakan sebuah peristiwa terperangkapnya panas dari matahari akibat gas-gas yang bersifat Rumah Kaca. Beberapa gas yang tergolong dalam Gas Rumah Kaca (GRK) yang memiliki sifat menangkap panas dari matahari seperti N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, dan tambahan gas-gas yaitu NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>, CF<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>9</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>OCHF<sub>2</sub>, CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OCHF<sub>2</sub>, dan senyawa-senyawa

halocarbon yang tidak termasuk Protokol Montreal, yaitu  $\text{CF}_3\text{I}$ ,  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  (Martono, 2015). Di bawah ini adalah gambaran tentang bagaimana bumi mengalami proses peningkatan suhu yang disebabkan Efek Gas Rumah Kaca.



**Gambar 2.** Ilustrasi Efek Rumah Kaca

Sumber: ([www.campaign-pelangi.or.id](http://www.campaign-pelangi.or.id))

### C. Dampak Negatif Terak Nikel terhadap Lingkungan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), maka *Slag* atau Terak Nikel tergolong kedalam jenis Limbah yang berasal dari Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan kode limbah B403 yang dikategorikan kedalam Kategori Bahaya Tingkat 2.

Penimbunan *Slag* Nikel pada lingkungan sekitar industry Pertambangan Logam Nikel memberikan dampak negatif terutama pada aspek lingkungan sekitar

pabrik seperti membutuhkan wilayah *landfill* yang luas dengan penanganan khusus, mencemari lingkungan serta dapat mencemari badan air sekitar *dumpsite* (Rosalina, Tjahyandari, & Darmawan, 2018).

Penelitian dalam *slag* secara umum dibagi menjadi dua yaitu penggunaan ulang (Reuse) atau dampak *slag* terhadap lingkungan. *Slag* dibagi menjadi dua yaitu *ferrous slag* (terak dari hasil pengolahan industry besi) serta *non-ferrous slag* (Ag, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn). Toksisitas *non-ferrous slag* jauh lebih tinggi dibanding *ferrous slag*, hal ini terutama dalam mempengaruhi kualitas air sekitar lokasi *slag* (Piatak, Parsons, & Seal II, 2014).

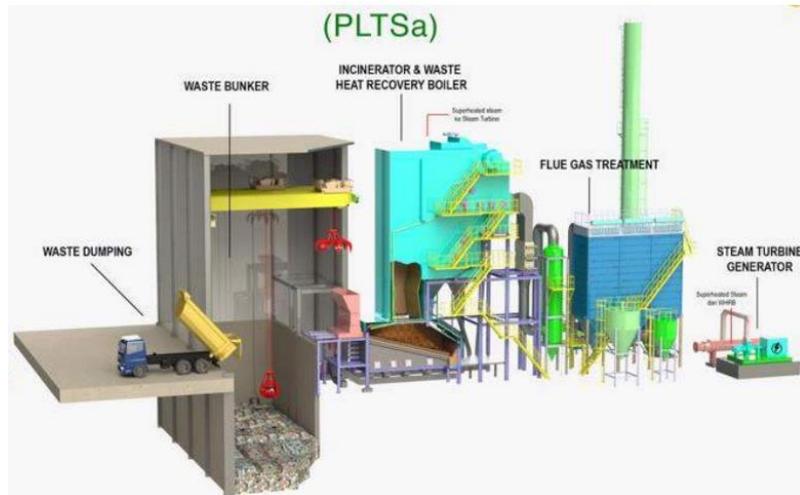
#### **D. Konsep Pemanfaatan Limbah menjadi Energi**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, istilah Limbah merupakan suatu sisa dan/atau usaha kegiatan yang mempengaruhi lingkungan hidup. Sedangkan pengertian sampah menurut SNI 19-2454-2002 adalah limbah yang berbentuk padat yang berasal dari bahan organik dan anorganik dan tidak memiliki nilai lagi.

Pemanfaatan Limbah menjadi Energi atau *Waste to Energy* merupakan salah satu konsep penelitian yang dikembangkan oleh Laboratorium Sanitasi dan Manajemen Persampahan, Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin. Dalam konsep ini, mahasiswa dituntut untuk menghasilkan sebuah inovasi dalam peningkatan nilai tambah limbah atau sampah yang dihasilkan menjadi sebuah produk baru yang lebih bermanfaat.

Pada penelitian ini, konsep *waste to energy* yang digunakan merujuk pada pemanfaatan limbah Terak (*Slag*) dari proses peleburan mineral nikel (*Electric Furnace*) menjadi bahan dasar media elektrolit pada baterai dengan menggunakan elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn). Pemanfaatan limbah menjadi sumber energi dalam bentuk baterai masih sangat jarang dilakukan, hal ini karena konsep *Waste to Energy* yang paling sering dilakukan adalah mengubah *Solid Waste* atau Sampah Padat yang dihasilkan masyarakat perkotaan untuk membangkitkan panas

dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Dibawah ini merupakan sebuah contoh desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah:



**Gambar 3.** Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

Sumber: (Winanti, 2018).

### **E. Reaksi Reduksi-Oksidasi Baterai**

Reaksi Reduksi-Oksidasi atau disingkat *redoks* merupakan sebuah reaksi pengurangan atau penambahan bilangan oksidasi (*biloks*) pada sebuah unsur. Reaksi ini akan melepaskan energi berupa elektron bebas yang dihasilkan dan ditangkap oleh elektroda baterai yang menyebabkan baterai dapat menghasilkan energi.

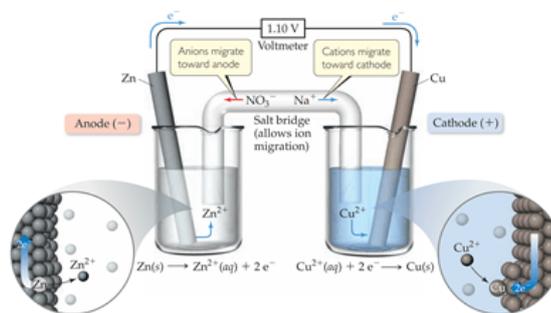
Secara umum, terdapat dua reaksi yang terjadi pada baterai baik dalam menghasilkan energi maupun menyimpan energi, yaitu reaksi volta dan reaksi elektrolisis. Berikut adalah penjelasannya :

#### **1) Reaksi Volta**

Sel Galvani disebut juga sel Volta adalah sel elektrokimia yang dapat menyebabkan terjadinya energi listrik dari suatu reaksi redoks yang spontan. Reaksi redoks spontan yang dapat mengakibatkan terjadinya energi listrik ini ditemukan

oleh Luigi Galvani dan Alessandro Guisepe Volta (Srisumarlinah & Indahyati, 2016).

Alessandro Volta menemukan bahwa pasangan logam tertentu dapat membangkitkan gaya gerak listrik. Gaya gerak listrik inilah yang menyebabkan arus listrik mengalir dalam suatu rangkaian. Arus listrik adalah aliran elektron melalui kawat penghantar (Srisumarlinah & Indahyati, 2016). Di bawah ini merupakan gambar sel volta dan reaksinya:



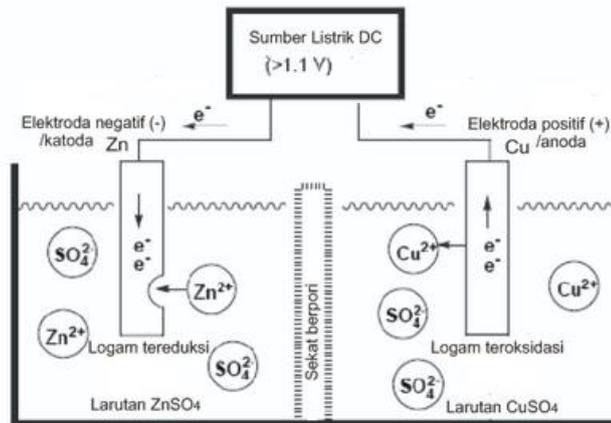
**Gambar 4.** Sel Volta/Galvani dan Reaksinya

Sumber: (Brown, et al., 2012).

## 2) Reaksi Elektrolisis

Svante August Arrhenius (1859–1927) menemukan bahwa zat-zat elektrolit dalam air akan terurai menjadi partikel-partikel bermuatan listrik yang dinamakan ion (ion-ion dapat bergerak bebas dalam larutan). Kation adalah ion yang bermuatan positif, anion adalah ion yang bermuatan negatif sedangkan proses pengionan (ionisasi) adalah peristiwa terurainya suatu elektrolit menjadi ion-ion. Oleh sebab itu larutan elektrolit dapat menghantarkan listrik. Zat non elektrolit tidak terionisasi ketika dilarutkan dalam air, mereka tetap berupa molekul sehingga tidak menghantarkan arus listrik (Srisumarlinah & Indahyati, 2016).

Secara garis besar, reaksi elektrolisis merupakan reaksi kebalikan dari reaksi volta. Pada reaksi elektrolisis, sel dialiri listrik searah (*Direct Current*) dengan arah terbalik dari sel volta, sehingga reaksi redoks yang terjadi pada posisi yang berbeda dari sel volta. Untuk lebih lengkap, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 5.** Reaksi Elektrolisis

Sumber: (Srisumarlinah & Indahyati, 2016).

## F. Berbagai Model Penyimpanan Energi

Dalam Jurnal *Chemical Reviews* yang ditulis oleh Martin Winter dan Ralph J. Brodd tahun 2004, terdapat tiga model yang digunakan untuk penyimpanan energi saat ini yaitu:

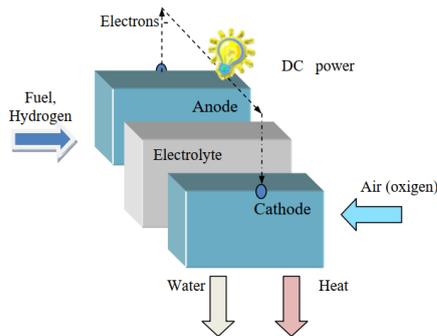
### 1) Baterai

Baterai merupakan unit penyimpanan yang menyimpan energi dalam bentuk kimia dan dapat langsung mengkonversi energi ketika dibutuhkan. Terdapat tiga jenis baterai secara umum yaitu Baterai Primer (sekali pakai), Baterai Sekunder (*rechargeable*) dan baterai yang didesain untuk keperluan khusus. Baterai, selain tidak menghasilkan emisi gas, dan berbagai kelebihan lainnya, namun juga memiliki kekurangan seperti energi yang dihasilkan masih lebih kecil dan lebih mahal dari energi fosil.

### 2) Sel Bahan Bakar (Fuel Cell)

Sel bahan bakar adalah perangkat elektrokimia yang menggunakan *hydrogen* ( $H_2$ ), atau bahan bakar kaya hidrogen, bersamaan dengan oksigen dari udara untuk memproduksi arus listrik dan panas.

Teknologi ini sangat menarik untuk digunakan pada generator mikro power, generator listrik stasioner, generator listrik terdistribusi dan generator listrik portabel untuk transportasi, proyek militer dan pasar otomotif (Giorgi & Leccese , 2013).

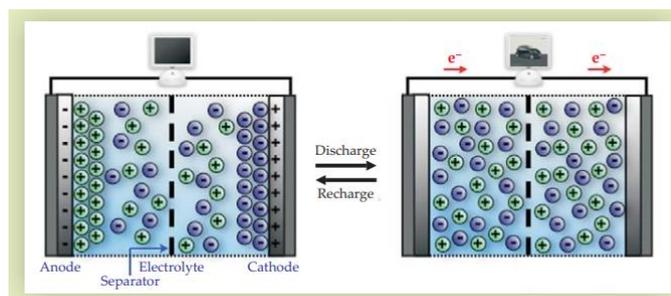


**Gambar 6.** Sel Bahan Bakar

Sumber: (Giorgi & Leccese , 2013).

### 3) Kapasitor Elektrokimia

Kapasitor elektrokimia menyimpan energi pada kedua permukaan elektroda. Kapsitor Elektrokimia merupakan superkapasitor menyimpan energi pada dua lapis elektrik yang dibentuk pada kedua permukaan antara elektrolit dan elektroda. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 7.** Kapasitor Elektrokimia

Sumber: (Abruna, et al., 2008).

## **G. Proses Pengolahan Nikel**

Dalam (Setiawan, 2016), terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengekstraksi nikel dari bijih (*Ore*) yang ditambang. Hal ini dikarenakan perbedaan konsentrasi minimum nikel pada bijih yang akan ditambang. Berikut merupakan metode-metode yang digunakan dalam ekstraksi bijih nikel beserta perusahaan yang menggunakannya:

- a) Pengolahan Feronikel shot/ingot: PT. Aneka Tambang, Cerro Matoso, Falconbridge, Hyuga, SLN-Eramet, Larco, Pamco
- b) Pengolahan Feronikel Luppen: Nippon Yakin Oheyama
- c) Pengolahan Nikel Matte: PT. Vale Indonesia
- d) Pengolahan NPI: Xinxing group, Tsingshan Group-Bintang Delapan Indonesia, Indoferro Indonesia

Secara umum, proses ekstraksi yang dilakukan secara pirometalurgi adalah:

- a) Pengeringan (*drying*) yaitu eliminasi sebagian besar air bebas yang terdapat dalam bijih.
- b) Kalsinasi-Reduksi yaitu eliminasi air bebas yang tersisa dan eliminasi air kristal, pemanasan awal bijih dan reduksi sebagian besar unsur nikel dan pengontrolan terhadap reduksi besi.
- c) *Electric Furnace Smelting* yaitu reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan feronikel dari hasil sampingnya yaitu slag besi magnesium silikat.
- d) *Refining* yaitu eliminasi unsur minor yang tidak dikehendaki dari produk ferronickel untuk dapat memenuhi kebutuhan pasar.

## **H. Pengelolaan Terak PT Vale Indonesia**

Terak yang dihasilkan dari proses reduksi nikel yang terjadi di Tanur Pelebur Listrik (*Electric Furnace*) akan dikeluarkan dan dikelola melalui proses:

## 1. Penyaringan (*Skimming*)

Skim slag yang telah dilelehkan disaring dari tungku dengan suhu  $1.500^{\circ}\text{C}$  dan dituang ke dalam bejana slag.



**Gambar 8.** Penyaringan Terak dari Tungku Listrik

Sumber: PT Vale Indonesia

## 2. Pengangkutan (*Slag Dumping*)

Terak nikel dipindahkan ke tempat pendinginan terak menggunakan alat angkut khusus (haul master) seperti pada gambar dibawah:



**Gambar 9.** Pengangkutan Terak Cair

Sumber: PT Vale Indonesia

### 3. Penuangan (*Pouring*)

Di tempat pendinginan terak (slag dump), slag cair dituang dan mengalir mengikuti gaya gravitasi. Setelah suhunya menurun/mendingin, slag berubah bentuk menjadi padatan seperti batu. Dibawah ini merupakan proses *Puring*:



**Gambar 10.** Penuangan Terak Cair pada *Slag Dump*

Sumber: PT Vale Indonesia

### 4. Pendinginan

Setelah 5-6 bulan, terak/slag padat didinginkan menggunakan udara terbuka atau menggunakan air jika diperlukan hingga suhunya turun menjadi 135°C atau kurang, sebelum digali menjadi kuari. Berikut merupakan gambar pendinginan:



**Gambar 11.** Pendinginan Terak di *Slag Dump*

Sumber: PT Vale Indonesia

## 5. Pemuatan dan Pengangkutan

Setelah 5-6 bulan, terak/*slag* padat didinginkan menggunakan udara terbuka atau menggunakan air jika diperlukan hingga suhunya turun menjadi 135°C atau kurang sebelum digali menjadi kuari. Berikut merupakan gambar proses pengangkutan:



**Gambar 12.** Pengangkutan Terak ke TPS

Sumber: PT Vale Indonesia

## 6. Penumpukan di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS)

Terak/*slag* yang belum dimanfaatkan ditumpuk/ditimbun di tempat penmpukan (*Slag Pile*) untuk dimanfaatkan saat diperlukan.



**Gambar 13.** Lokasi Penumpukan Terak

Sumber: PT Vale Indonesia

## I. Studi Terdahulu Pemanfaatan Energi Alternatif

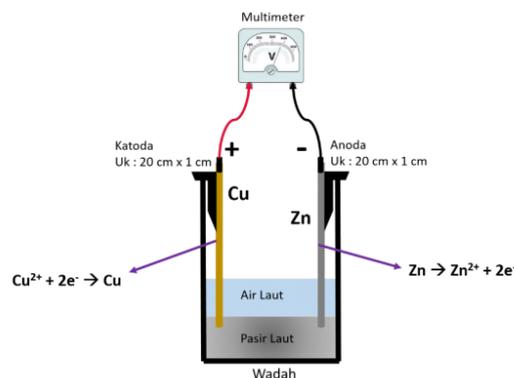
Beberapa penelitian terdahulu dalam usaha memanfaatkan material dan atau sumber elektrolit yang terdapat bebas di alam menjadi sebuah sumber energi dalam bentuk baterai seperti:

### 1. Pemanfaatan Kulit Pisang dan Durian menjadi Sumber Energi Alternatif

Beragam penelitian yang dilakukan dalam memanfaatkan kulit buah jenis pisang dan durian sebagai pengganti pasta sel primer seperti pada percobaan Pulungan, dkk., tahun 2017 yang memanfaatkan “Limbah Kulit Pisang” menjadi pengganti pasta baterai dengan tegangan sebesar 0.95 Volt dan Arus sebesar 2.5 mA selama 14 jam. Sedangkan pada penelitian lainnya menggunakan Kulit Durian sebagai elektrolit baterai, tegangan maximum yang dihasilkan sebesar 0.94 volt dengan arus sebesar 2.84 ampere (Muhlisin, et al., 2015).

### 2. Pemanfaatan Air Laut menjadi Sumber Energi Alternatif

Prastuti, 2017 melalui pemanfaatan pasir laut dan air laut dapat menghasilkan sel dengan tegangan 2.4 Volt dan arus sebesar 2.5 ampere melalui variasi 300 gram air laut dan 0 gram pasir laut. Di bawah ini merupakan rancangan sel yang digunakan:



**Gambar 14.** Rancangan Sel Air dan Pasir Laut

Sumber: (Prastuti, 2017).

### **3. Pemanfaatan Tanah Lempung Merah Menjadi Sumber Energi Alternatif**

Salah satu sumber ion yang dimanfaatkan sebagai elektrolit baterai adalah Tanah Lempung Merah. Penelitian ini mengkaji tentang karakteristik energi listrik yang dihasilkan dari Tanah Lempung Merah (TLM) dengan elektroda Cu dan Zn.

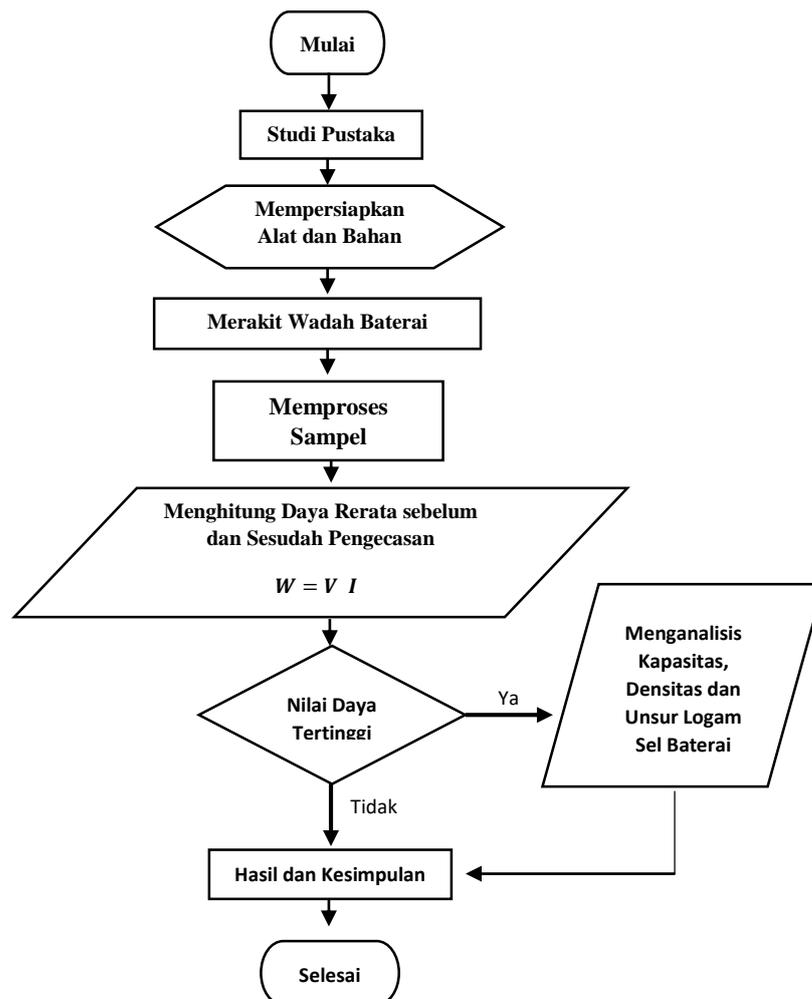
Kandungan ion logam pada tanah yang sangat berpengaruh menghasilkan listrik yaitu pada logam *Natrium*, *Magnesium* dan *Calcium*. Hasil pengukuran kapasitas energy listrik pada cell baterai tanah lempung merah secara seri yaitu pada elektrolit yang berasal dari elektrolit air Tanjung Mas mempunyai kapasitas arus sebesar 2,44 Ah, densitas baterai 1,15 Wh/10 gram (Pinandita , et al., 2016).

**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**A. Metode Penelitian**

**1) Bagan Alur Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah Studi Experimen dengan pengujian tegangan dan arus terhadap sampel. Diagram alir penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada gambar dibawah:



**Gambar 15.** Bagan Alur Penelitian

## 2) Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel terak dilakukan di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Delaney PT Vale Indonesia Tbk. Yang berlokasi di Sorowako, kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi selatan. Sedangkan perakitan serta pengujian baterai dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa.

Waktu penelitian dilaksanakan pada 27 Desember 2019 sampai dengan 12 Februari 2020. Detail waktu dan kegiatan dapat dilihat pada lampiran 1.

## 3) Alat dan Bahan

Berikut merupakan Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mulai dari pengambilan sampel sampai dengan analisis:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| a. Sekop                        | m. Solder                                    |
| b. Plastic Bag/Sampel Bag       | n. Ember                                     |
| c. Timbangan                    | o. Terak                                     |
| d. Jaw Crusher 200              | p. Akrilik                                   |
| e. Disk Mill -100 Mesh          | q. Glue Gun                                  |
| f. Thermometer                  | r. Plat Seng dan Tembaga                     |
| g. pH meter                     | s. Label                                     |
| h. Larutan NaOH dan HCl 5%      | t. Timah                                     |
| i. Mistar, Spidol, Gunting      | u. Sensor INA219 DC Current & Voltage Sensor |
| j. Meteran                      | v. Arduino Uno                               |
| k. Global Position System (GPS) | w. ED-XRF (Spektrometer)                     |
| l. Multimeter Digital           |  |

## B. Rancangan Penelitian

### 1) Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan Terak yang berasal dari Tanur Pembakar Listrik (*Electric Furnace*). Pengambilan sampel dilakukan pada Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) *Delaney* PT Vale Indonesia Tbk. dengan kordinat Garis Lintang  $2^{\circ}34'37.54''\text{S}$  dan Garis Bujur  $121^{\circ}23'19.42''\text{E}$  menggunakan metode *random sampling* pada kelima titik sampel yang disajikan pada gambar dibawah:



**Gambar 16.** Lokasi Pengambilan Sampel Terak pada TPS Delaney di Sorowako

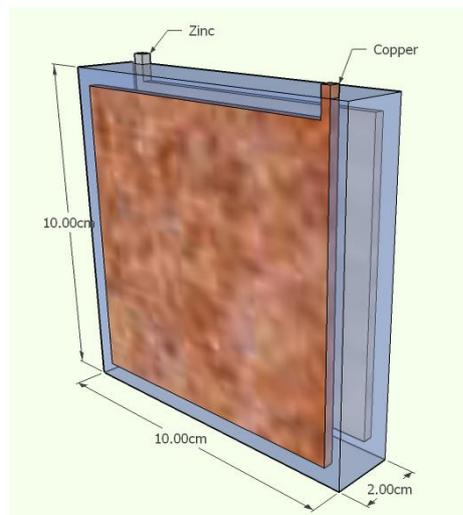
Adapun titik kordinat dari kelima lokasi sampel dan keterangannya disajikan pada table berikut ini:

**Tabel 1.** Lokasi dan Keterangan Sampel Terak

Lokasi	Garis Lintang	Garis Bujur	Posisi
1	$2^{\circ}34'38.68''\text{S}$	$121^{\circ}23'17.38''\text{E}$	Barat Laut
2	$2^{\circ}34'38.51''\text{S}$	$121^{\circ}23'20.82''\text{E}$	Timut Laut
3	$2^{\circ}34'40.74''\text{S}$	$121^{\circ}23'19.39''\text{E}$	Barat
4	$2^{\circ}34'43.46''\text{S}$	$121^{\circ}23'20.12''\text{E}$	Timur
5	$2^{\circ}34'40.59''\text{S}$	$121^{\circ}23'23.13''\text{E}$	Selatan

## 2) Rancang Bangun

Desain elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tipe elektroda lempeng (*plate electrode*) yang terdapat pada Gambar 10. Plat Seng dan Tembaga dimasukkan kedalam sisi berlawanan pada sel baterai yang terbuat dari *akrilik* (kaca mika) dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 2 cm seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 17.** Desain Elektroda Lempeng (*Plate Electrode*)

## 3) Perlakuan Sampel

Sampel yang telah diambil di TPS Terak masih dalam bentuk bongkahan kerikil dengan ukuran sekitar 1 cm sampai dengan 7 cm, oleh karena itu untuk menghasilkan sampel yang lebih halus dilakukan penggilingan (*Crushing*) menggunakan alat Jaw Crusher 200 sehingga menghasilkan Slag dengan ukuran partikel 10 mesh. Selanjutnya, sampel dihaluskan dengan Disk Mill agar mencapai tingkat kehalusan sekitar 100 mesh.

Dalam membantu mendistribusikan muatan (ion) yang ada pada terak, maka dibutuhkan pelarut (*electrolyte*) yang dicampurkan untuk mereaksikan sampel yang terdiri dari empat jenis elektrolit dalam percobaan ini. Elektrolit yang pertama

merupakan jenis elektrolit kering (tanpa penambahan elektrolit), elektrolit kedua menggunakan air distilasi, elektrolit ketiga menggunakan NaOH (*Sodium Hydroxide*) konsentrasi 5%, dan elektrolit keempat menggunakan larutan HCL (*Hydrogen Chloride*) 5%.

Penggunaan konsentrasi 5% pada elektrolit asam dan basa merupakan konsentrasi paling optimal serta ekonomis. Pada penelitian sebelumnya menggunakan tanah merah dengan elektrolit Basa, Garam dan Asam seperti pada table dibawah ini:

	Characteristics			
	Temperature (°C)	Effervescency	Max Voltage (V)	Max Ampere (mA)
<b>Electrolyte</b>				
Tap Water	24.7	-	0.892	3.62
NaOH (5%)	24.5	+	1.04	36.90
NaOH (10%)	24.6	+	1.08	19.20
NaOH (15%)	24.2	++	1.02	19.02
NaCl (5%)	24.2	-	0.9	29.80
NaCl (10%)	24.5	-	0.82	26.20
NaCl (15%)	24.6	-	0.86	13.36
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5%)	24.3	+	0.53	46.70
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10%)	24.7	++	0.67	21.50
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (15%)	25.3	+++	0.62	40.00

**Gambar 18.** Karakteristik Kelistrikan dari Baterai Tanah Merah dengan pencampuran elektrolit Basa (NaOH), Garam (NaCl) dan Asam (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Sumber: (Suparmin, et al., 2019)

Berdasarkan jumlah lokasi sampel dan elektrolit yang digunakan, maka total sel yang akan diteliti pada percobaan ini adalah sebanyak 20 sel. Sampel dengan daya tertinggi dianalisis menggunakan metode *X-Ray Fluoresence Spectrometri* (XRF) untuk mengetahui jenis logam yang dominan setelah direaksikan.

#### 4) Analisis Data

##### 1) Menguji Besaran Daya dan Potensi Pengisian Ulang

Hasil perkalian Arus dan Tegangan listrik yang dihasilkan dari sebuah alat listrik disebut sebagai daya (Power). Untuk menghitung daya, maka dibutuhkan data Tegangan dan Arus listrik. Berikut merupakan rumus menghitung daya listrik:

$$W = V I \quad (1)$$

Keterangan:

W : Daya

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Amphere)

Arus dan Tegangan pada setiap sel akan dihitung dalam waktu 5 menit (300 detik) untuk mengetahui besaran serta kestabilan daya yang dihasilkan dari setiap sel. Setelah mengukur Arus dan Tegangan, maka setiap sel dialiri daya (*charging*) dengan arus 2 Ampere dan Tegangan 5 Volt selama 2 jam dan dilakukan pengukuran ulang dengan waktu yang sama untuk melihat kemampuan sel dalam menyimpan energi.

##### 2) Analisis Kapasitas Energi dari Sampel

Energi yang tersimpan dalam sebuah material dapat diketahui dengan sebuah pengujian kapasitas energi. Seperti pada baterai, untuk mengetahui kapasitas energi (*Energy Capacity*) maka perlu dilakukan pengujian arus (mA) per waktu (h) dengan satuan *Mili Amper Hour* (mAh).

Untuk mengetahui total energi yang dihasilkan dari sel yang menghasilkan daya tertinggi, maka dilakukan dengan memasang alat sensor Arus dan Tegangan pada perangkat *Microcontroller* berupa perangkat Arduino, selanjutnya kapasitas total didapatkan melalui persamaan dibawah ini :

$$Q = \int I dt \quad (2)$$

atau :

$$Q = I t \quad (3)$$

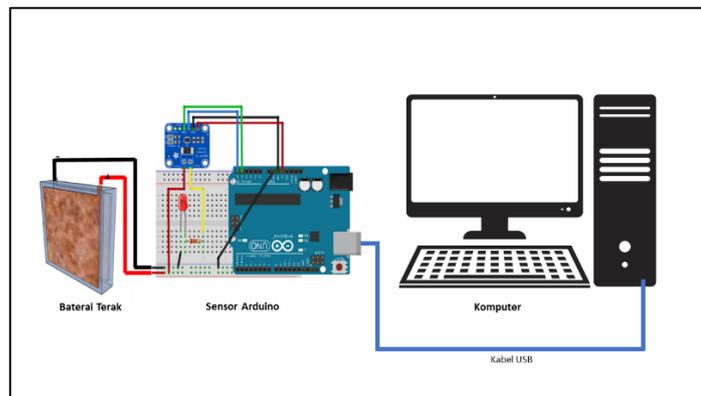
Keterangan :

Q : Muatan Listrik (Coulomb)

I : Arus Listrik (Amper)

t : Waktu (Jam)

Dibawah ini merupakan desain pengukuran kapasitas baterai menggunakan *Micro Controller* tipe Arduino Uno dengan sensor arus dan tegangan DC INA 219 yang dihubungkan dengan aplikasi Arduino IDE :



**Gambar 19.** Desain Pengukuran Arus dan Tegangan Otomatis

## BAB IV

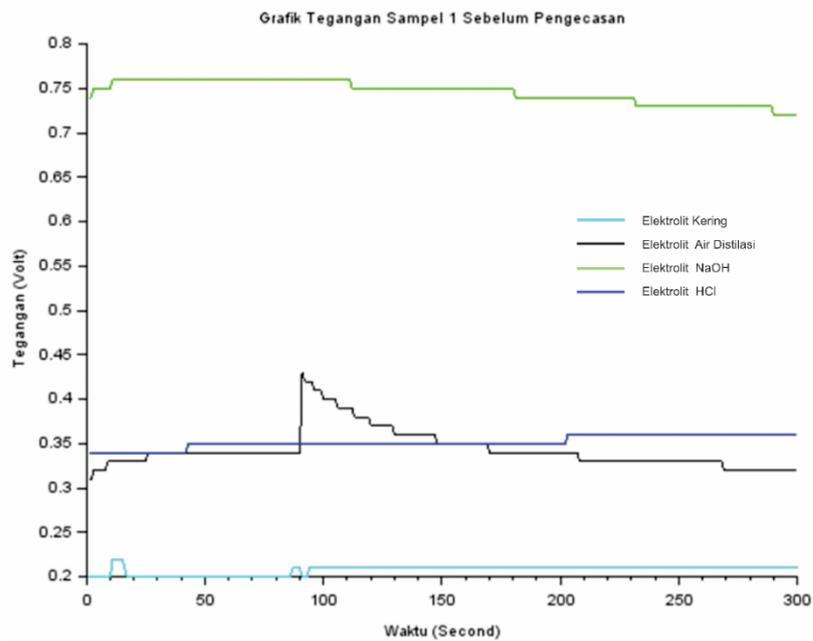
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Grafik Tegangan dan Arus Listrik dari Perlakuan Elektrolit

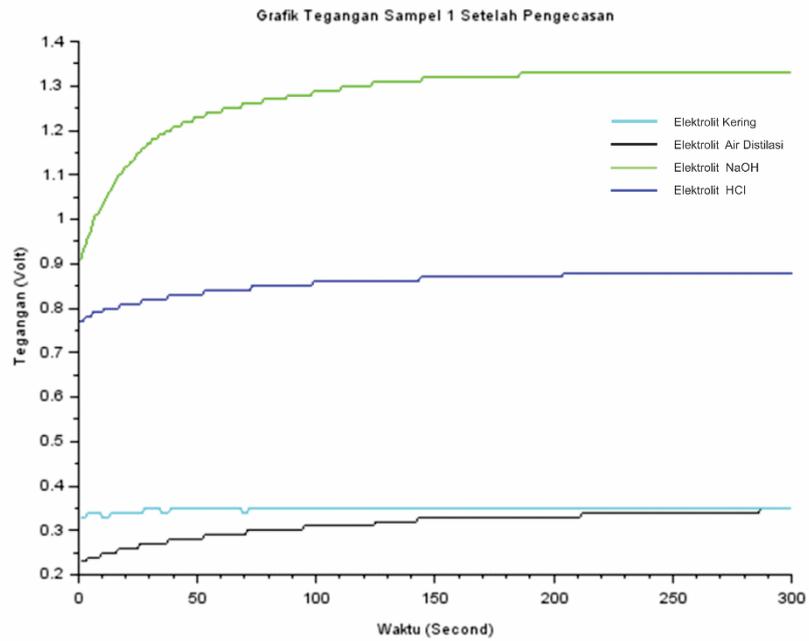
Berikut merupakan grafik dan tabel data hasil pengujian dari 20 sampel baterai terak terhadap Lokasi Pengambilan sampel di TPS Delaney PT Vale Indonesia:

##### 1) Sampel Lokasi 1

##### a. Tegangan

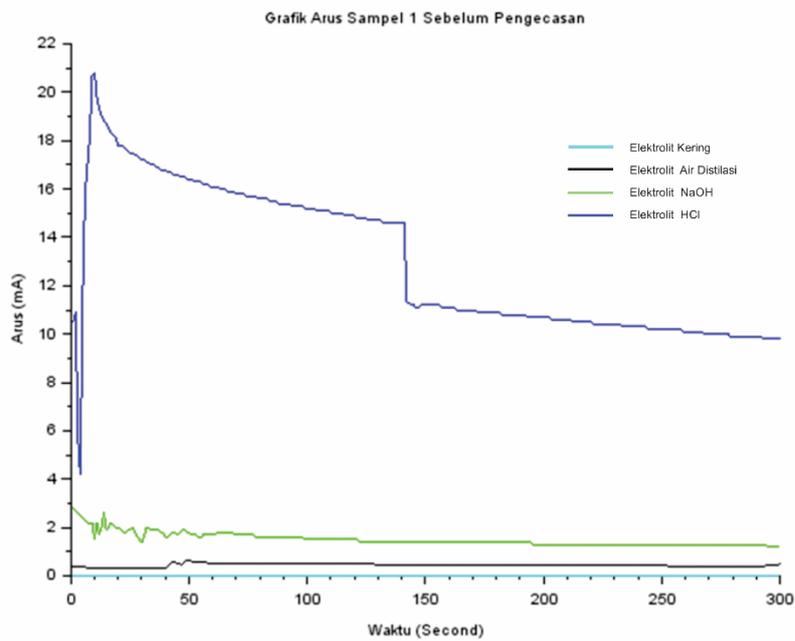


**Gambar 20.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Sebelum Pengecasan

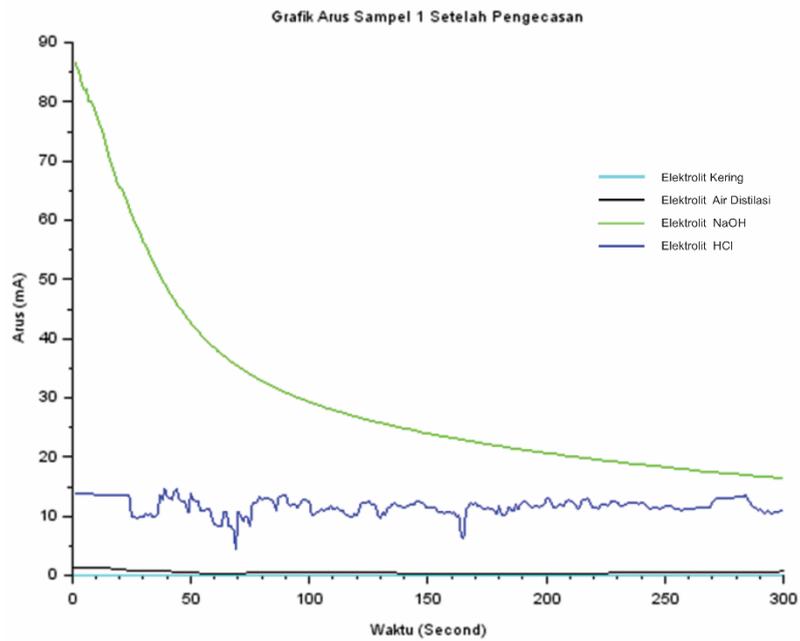


**Gambar 21.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Setelah Pengecasan

**b. Arus**



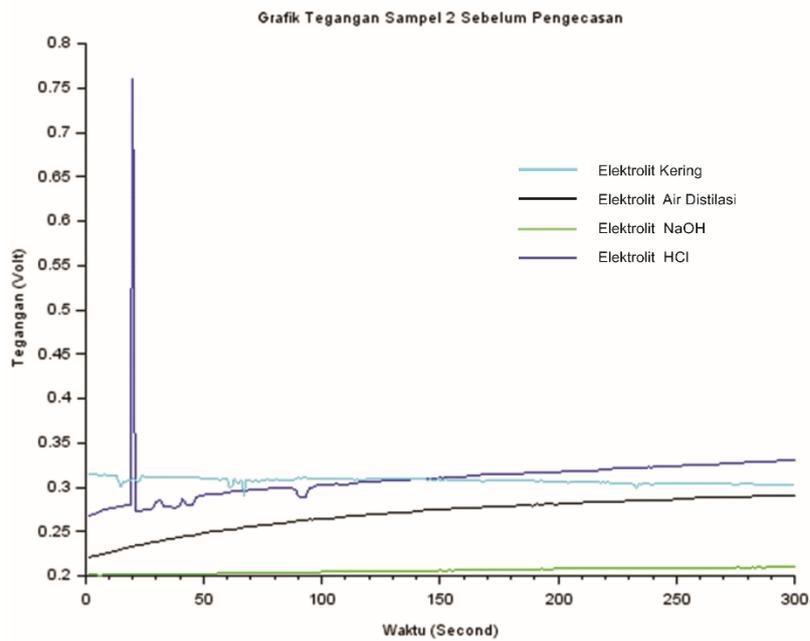
**Gambar 22.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Sebelum Pengecasan



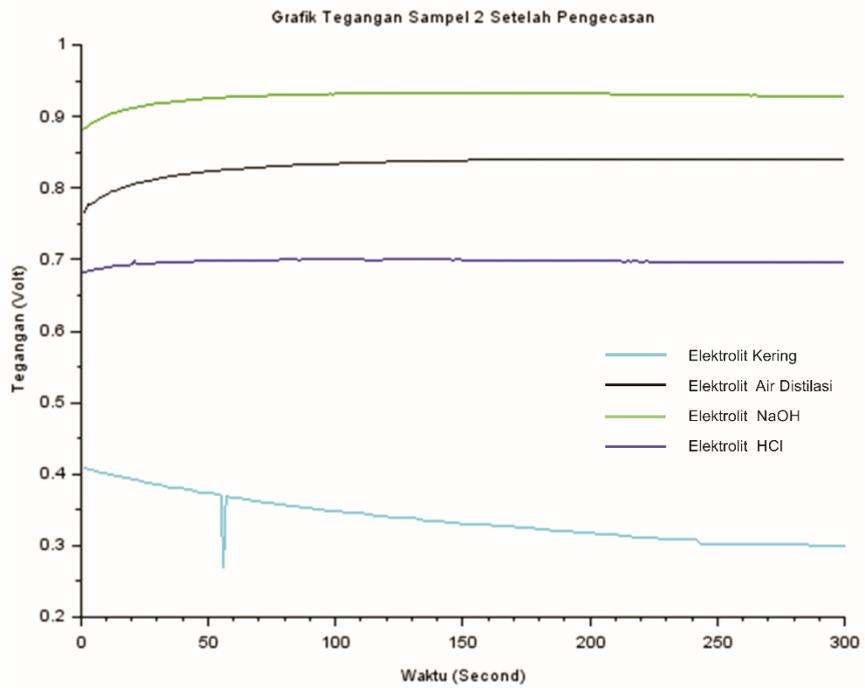
**Gambar 23.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 1 Setelah Pengecasan

## 2) Sampel Lokasi 2

### a. Tegangan

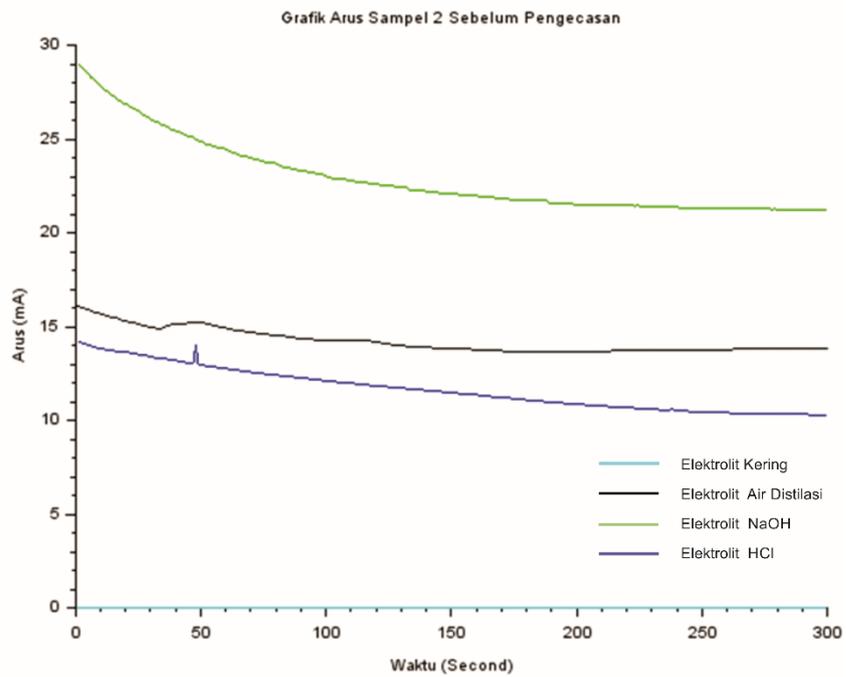


**Gambar 24.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Sebelum Pengecasan

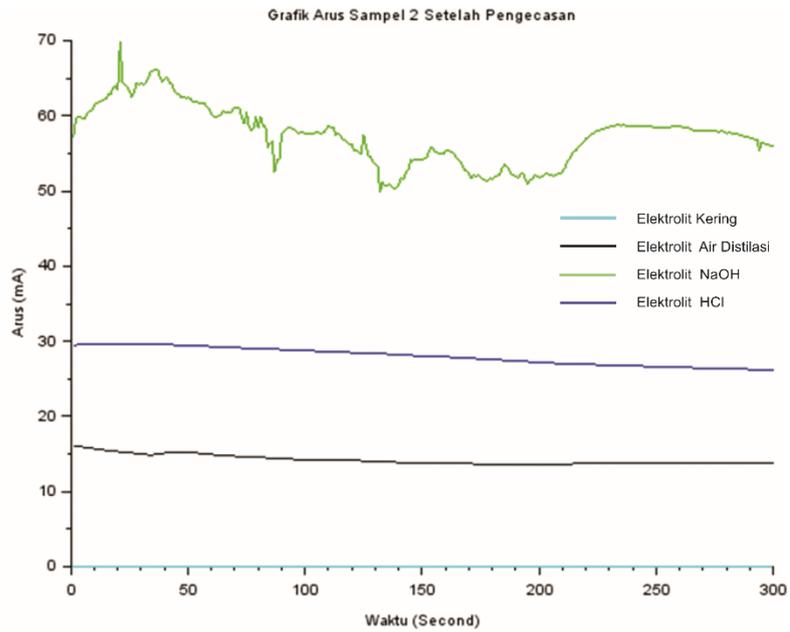


**Gambar 25.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Setelah Pengecasan

**b. Arus**



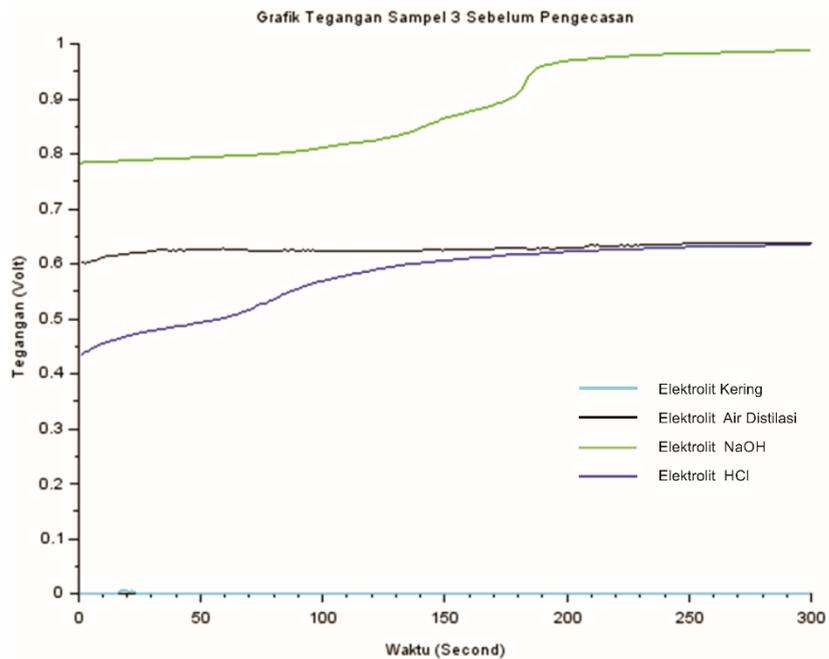
**Gambar 26.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Sebelum Pengecasan



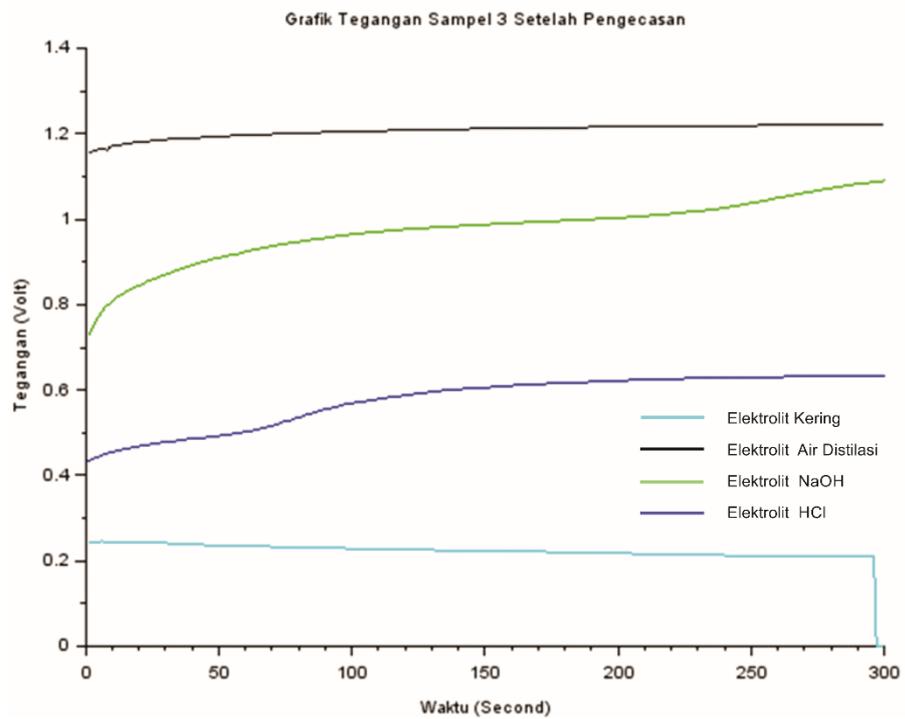
**Gambar 27.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 2 Setelah Pengecasan

### 3) Sampel Lokasi 3

#### a. Tegangan

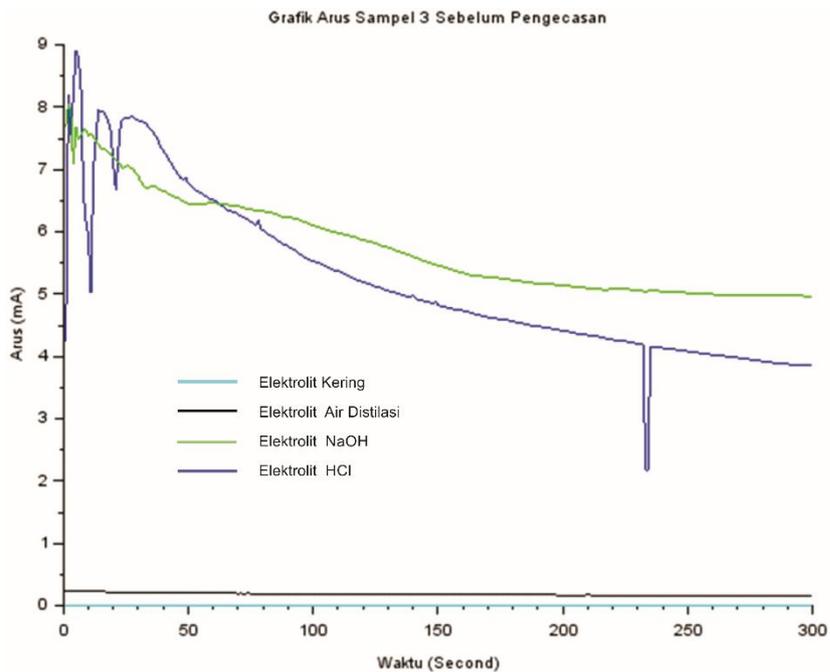


**Gambar 28.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Sebelum Pengecasan

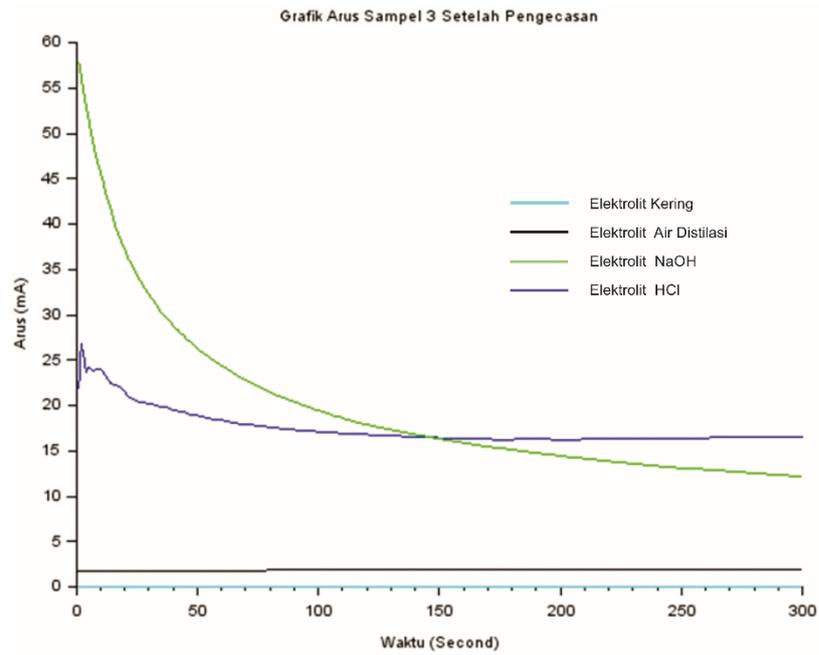


**Gambar 29.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Setelah Pegecasan

**b. Arus**



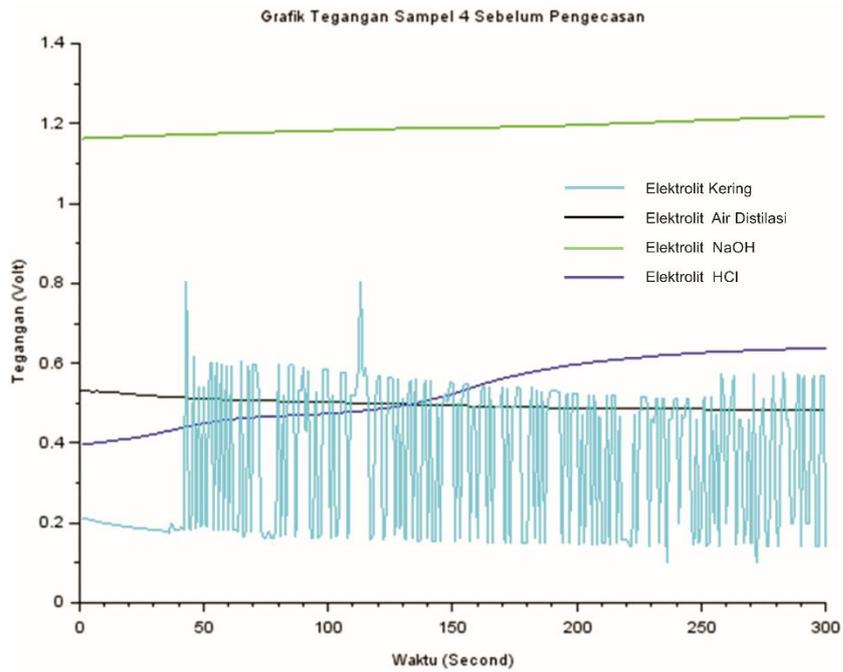
**Gambar 30.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Sebelum Pegecasan



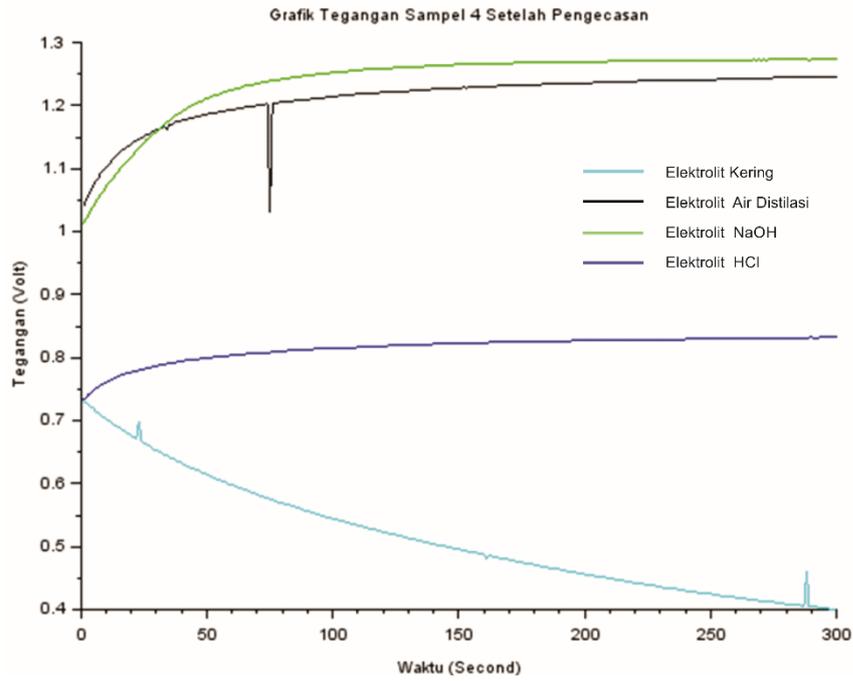
**Gambar 31.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 3 Setelah Pengecasan

#### 4) Sampel Lokasi 4

##### a. Tegangan

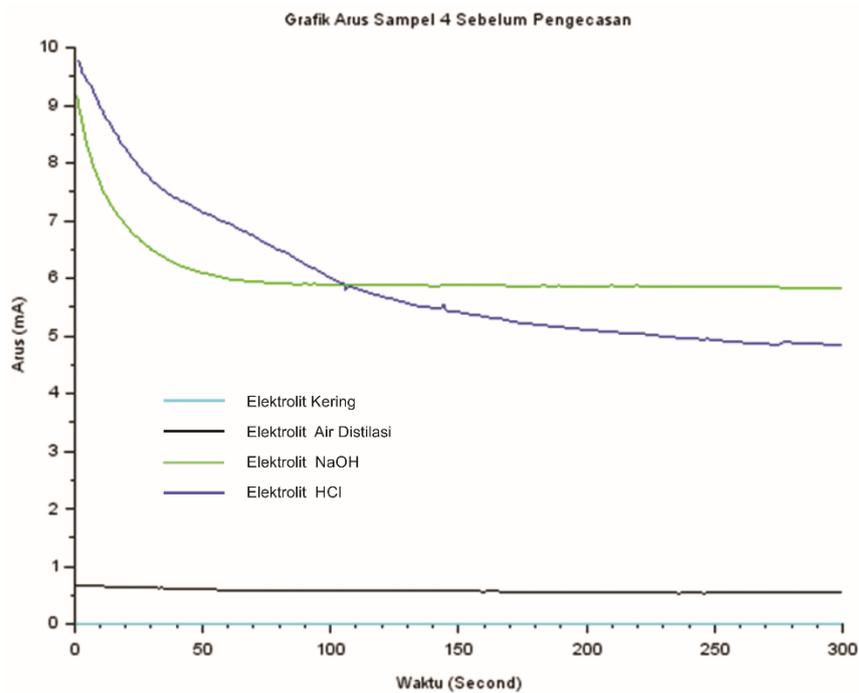


**Gambar 32.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Sebelum Pengecasan

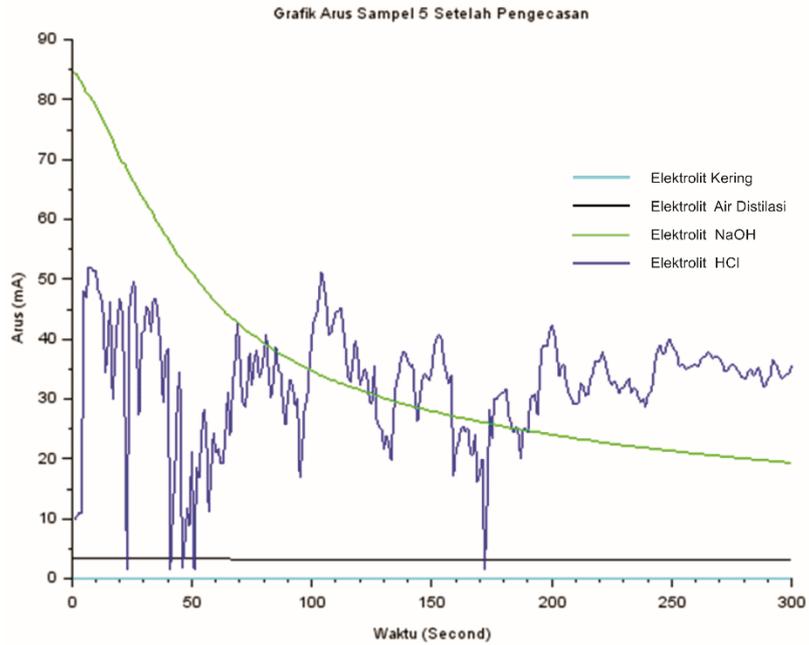


**Gambar 33.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Setelah Pengecasan

**b. Arus**

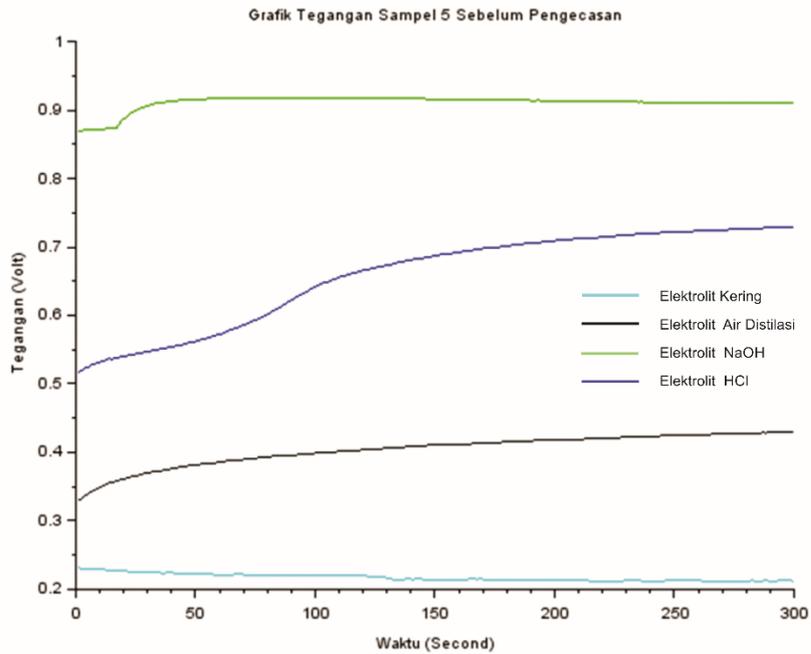


**Gambar 34.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Sebelum Pengecasan

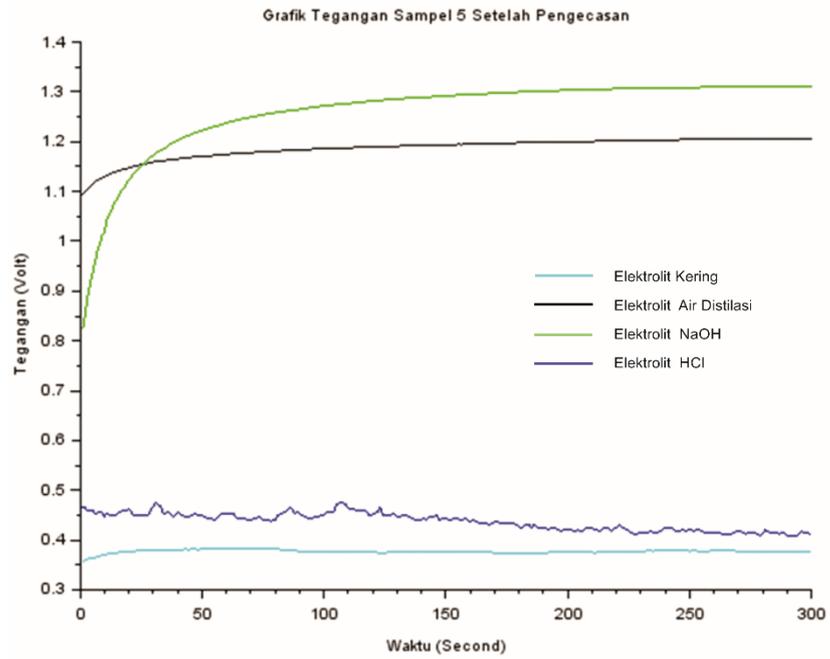


**Gambar 35.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 4 Setelah Pegecasan

**5) Sampel Lokasi 5**  
**a. Tegangan**

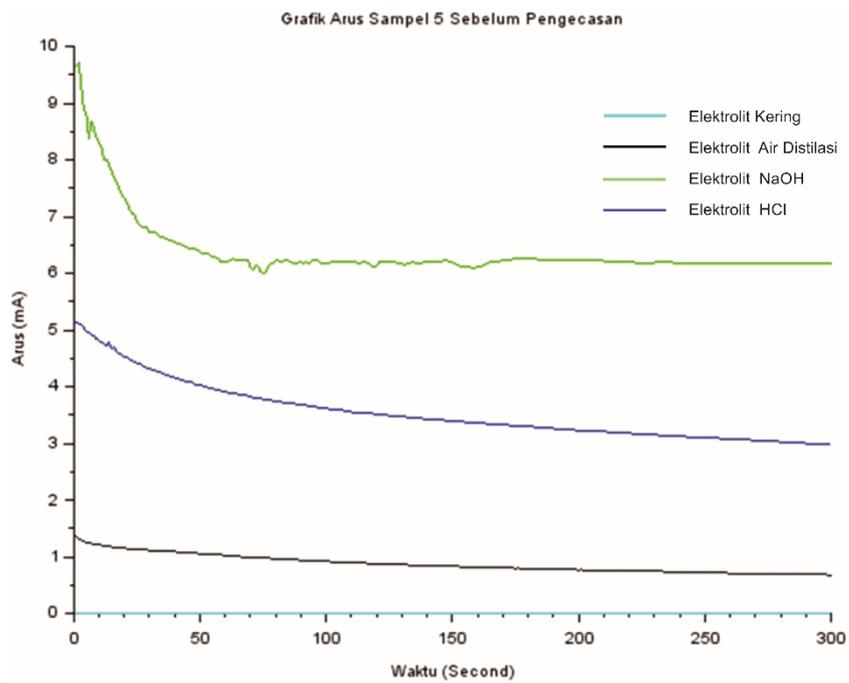


**Gambar 36.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Sebelum Pegecasan

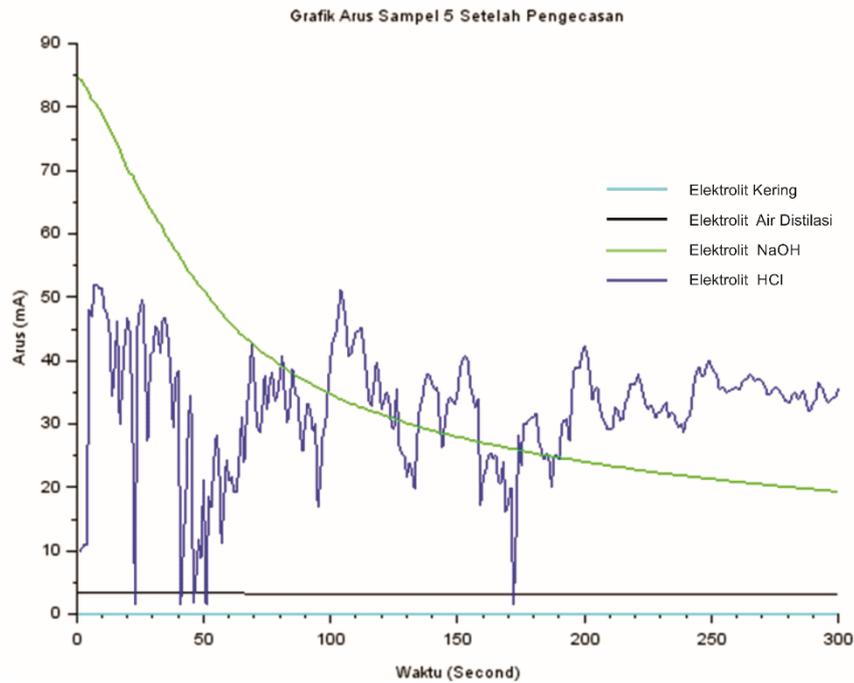


**Gambar 37.** Grafik Tegangan Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Setelah Pengecasan

**b. Arus**



**Gambar 38.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Sebelum Pengecasan



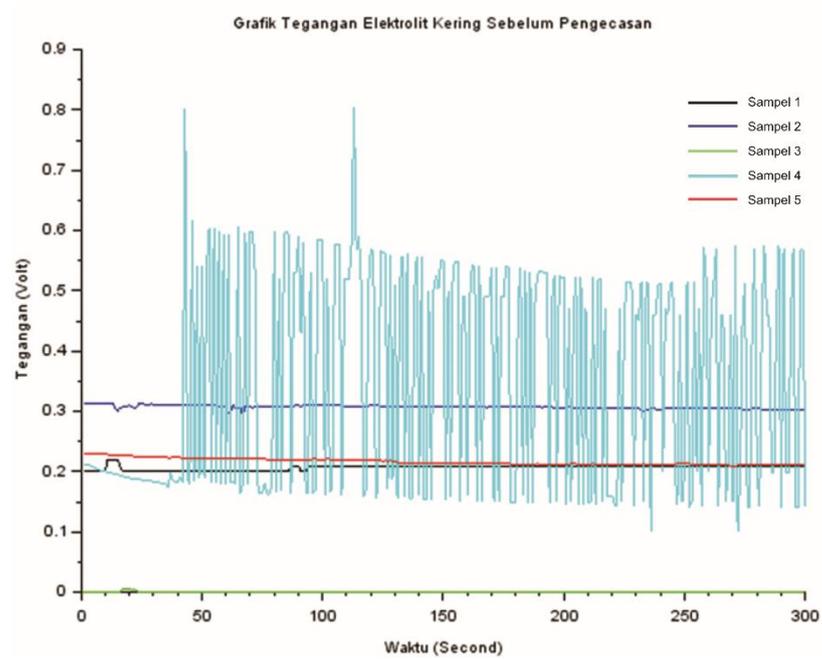
**Gambar 39.** Grafik Arus Baterai Terak dari Sampel yang Berasal di Lokasi 5 Setelah Pengecasan

### B. Perbandingan Tegangan dan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel

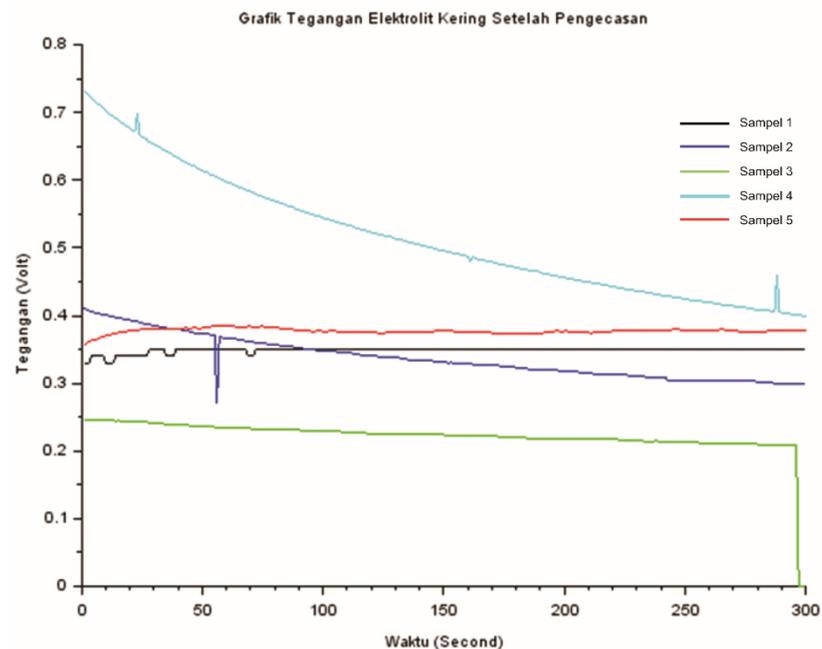
Setelah membandingkan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dari perbedaan perlakuan (elektrolit) dalam sampel dari setiap lokasi pengambilan sampel, maka perlu dilakukan perbandingan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dari setiap lokasi sampel untuk melihat pengaruh dari kelima lokasi pengambilan sampel terhadap tegangan dan arus listrik yang dihasilkan pada baterai. Berikut merupakan grafik perbandingan terhadap kelima sampel:

## 1) Perlakuan Elektrolit Kering

### a. Tegangan



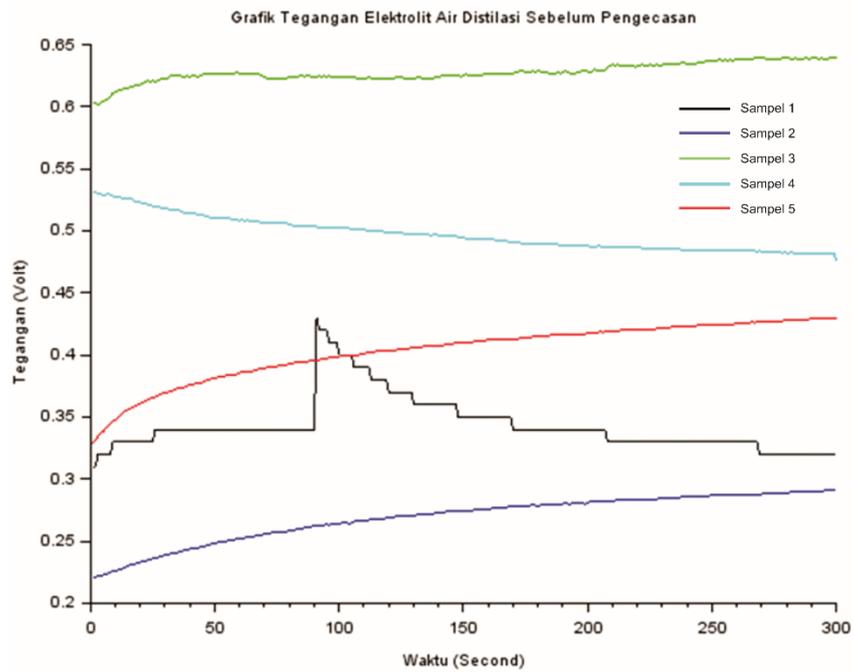
**Gambar 40.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Kering Sebelum Pengecasan



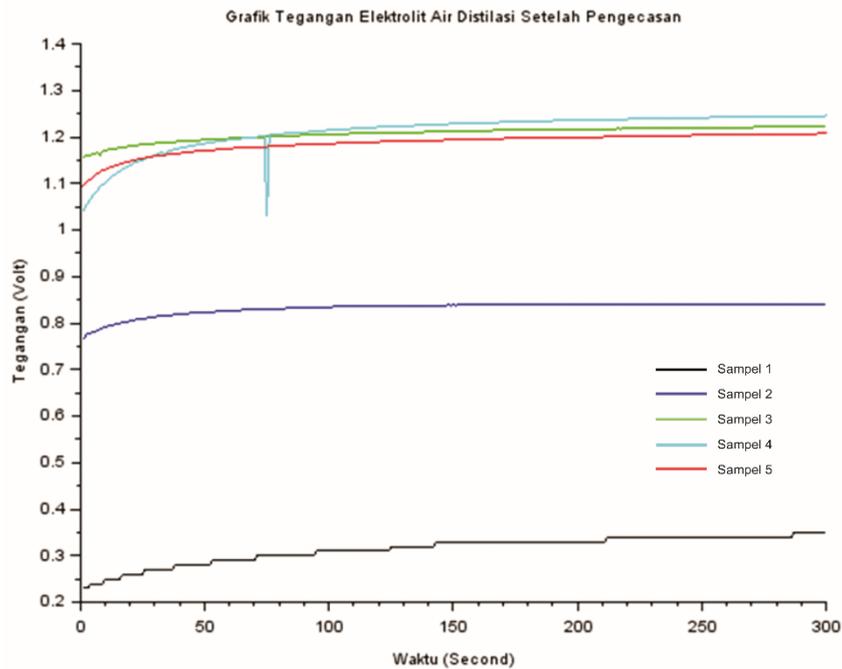
**Gambar 41.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Kering Setelah Pengecasan

## 2) Perlakuan Elektrolit Air Distilasi

### a. Tegangan

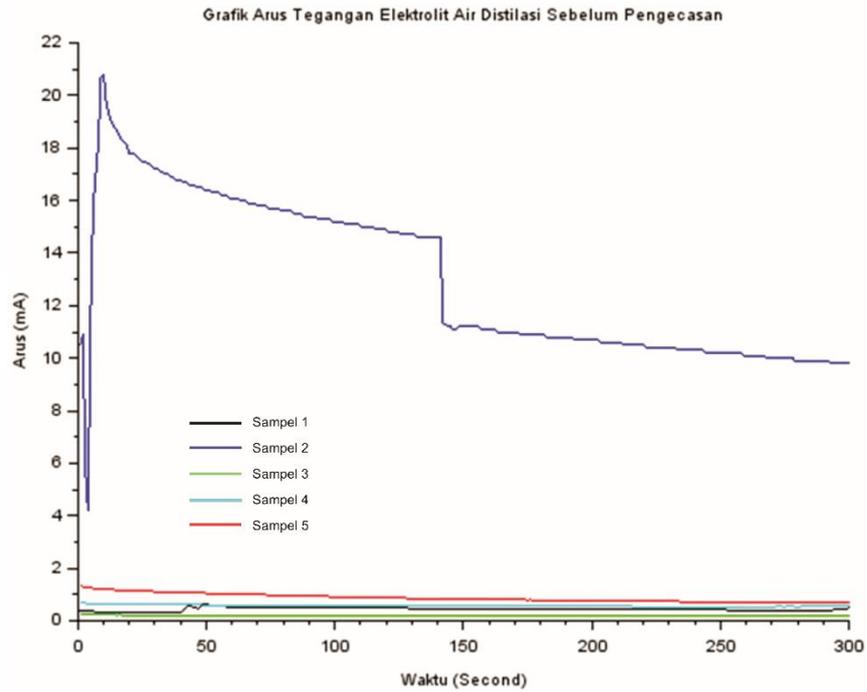


**Gambar 42.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Sebelum Pengecasan

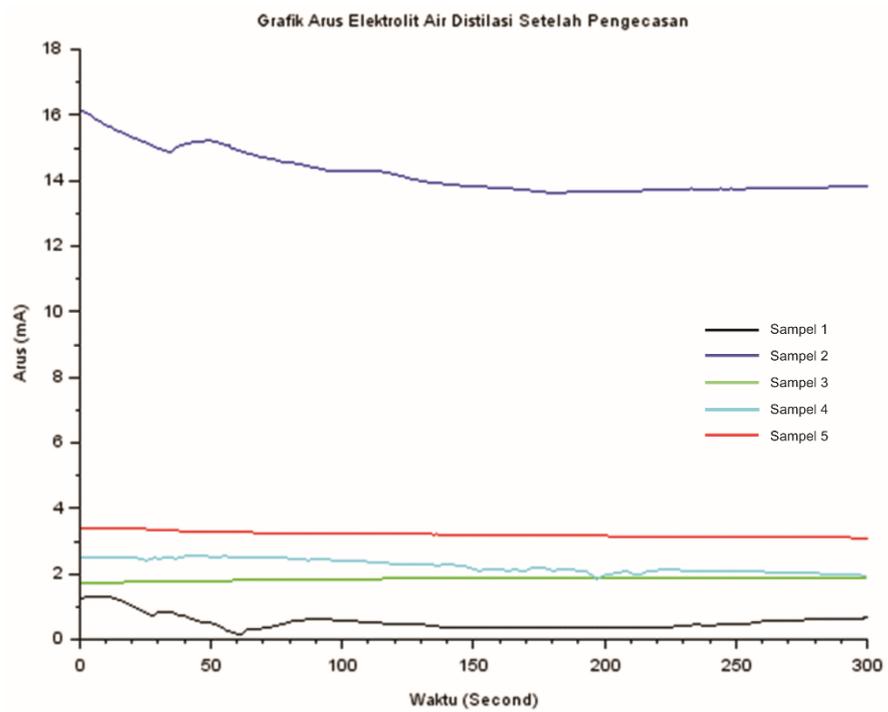


**Gambar 43.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Setelah Pengecasan

**b. Arus**



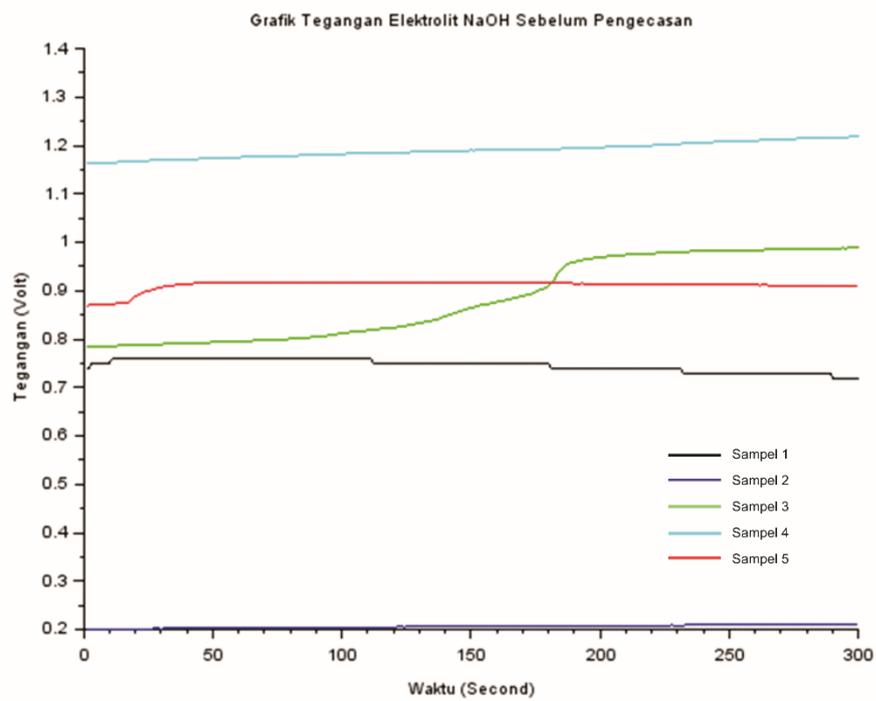
**Gambar 44.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Sebelum Pengecasan



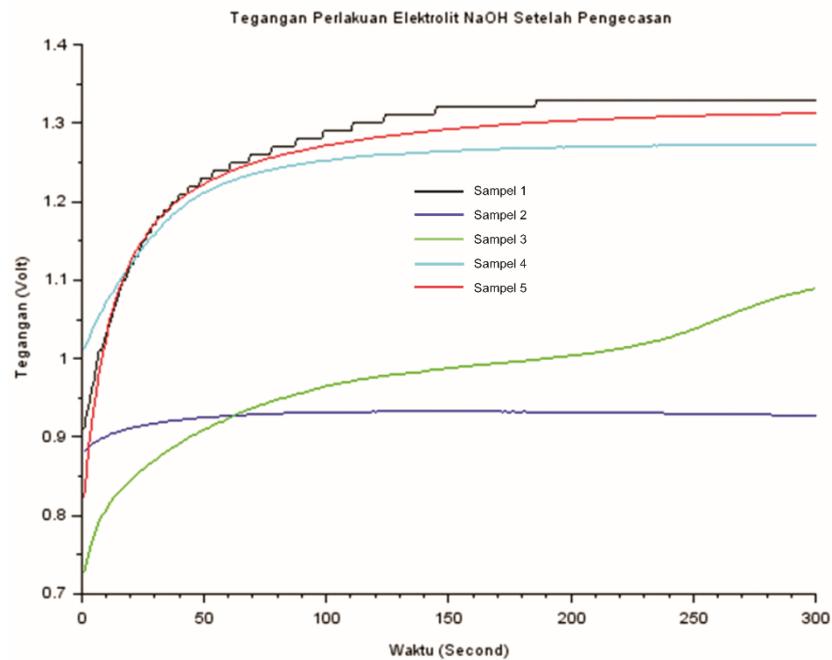
**Gambar 45.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit Air Distilasi Setelah Pengecasan

### 3) Perlakuan Elektrolit NaOH

#### a. Tegangan

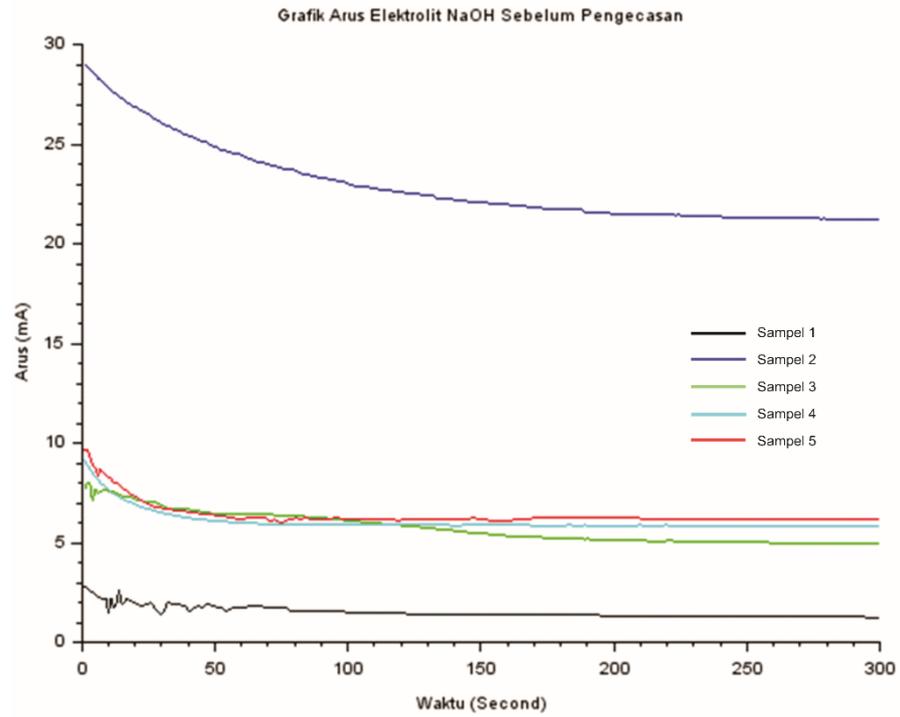


**Gambar 46.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Sebelum Pengecasan

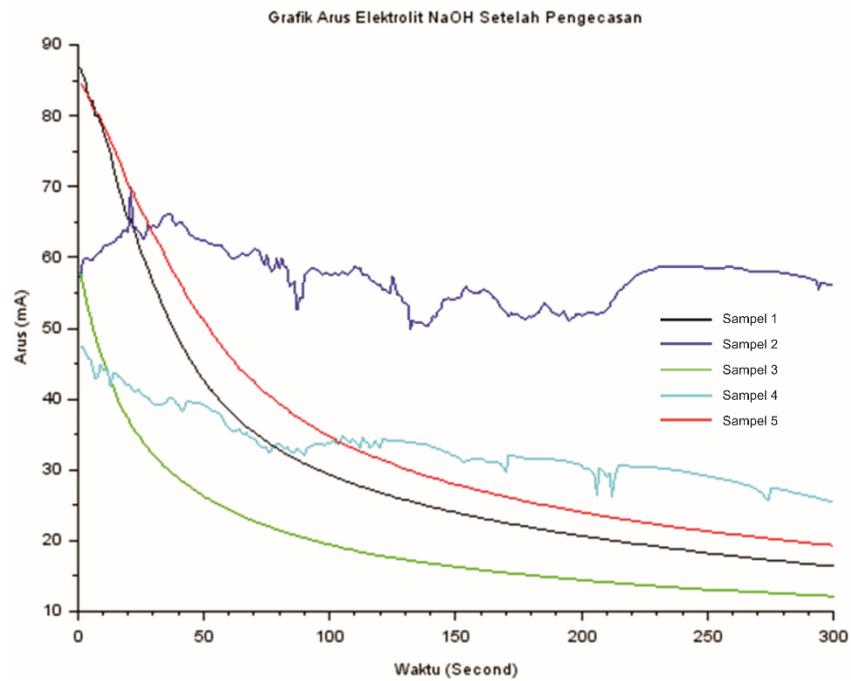


**Gambar 47.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Setelah Pengecasan

**b. Arus**



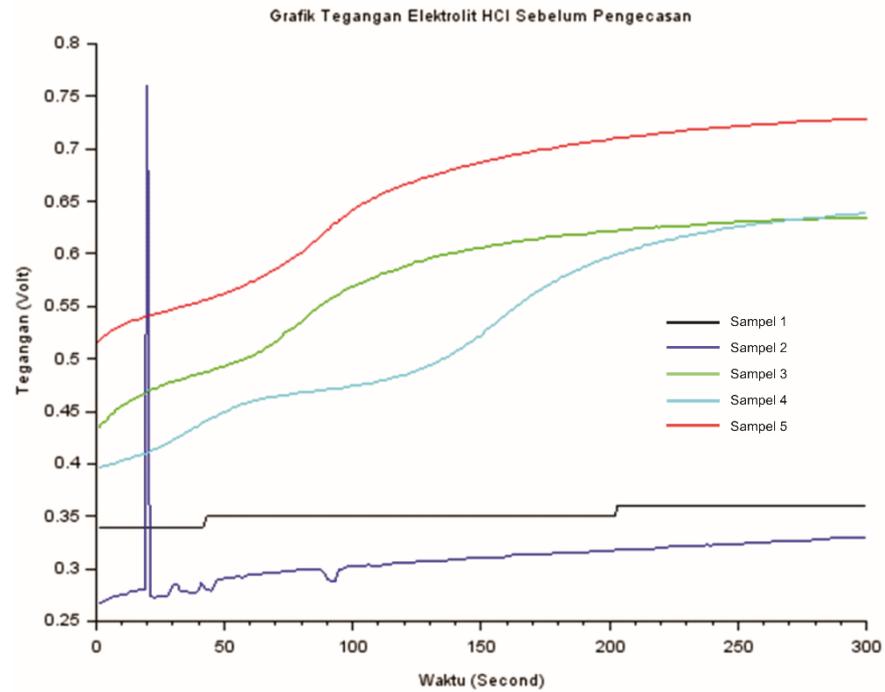
**Gambar 48.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Sebelum Pengecasan



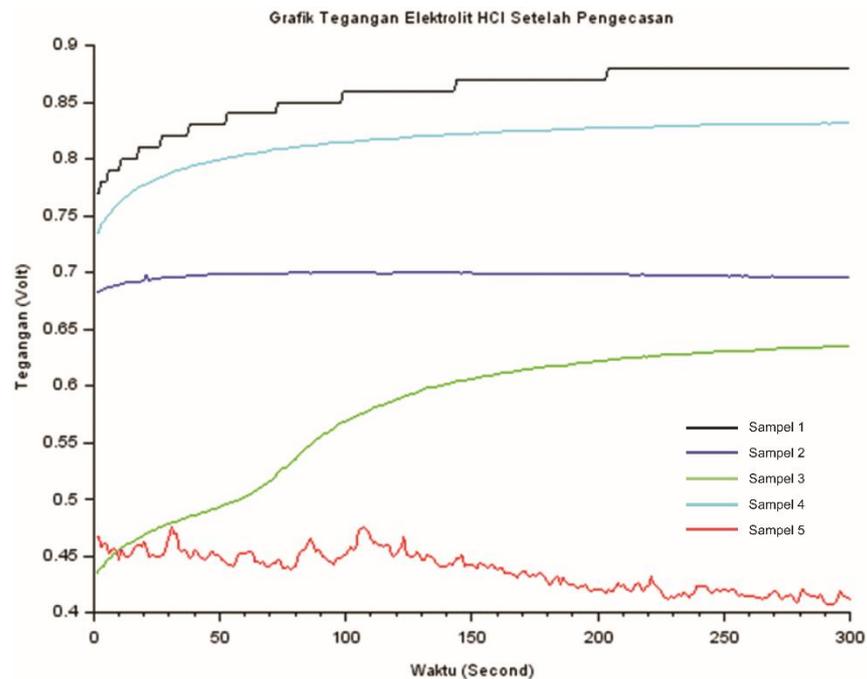
**Gambar 49.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit NaOH Setelah Pengecasan

#### 4) Perlakuan Elektrolit HCl

##### a. Tegangan

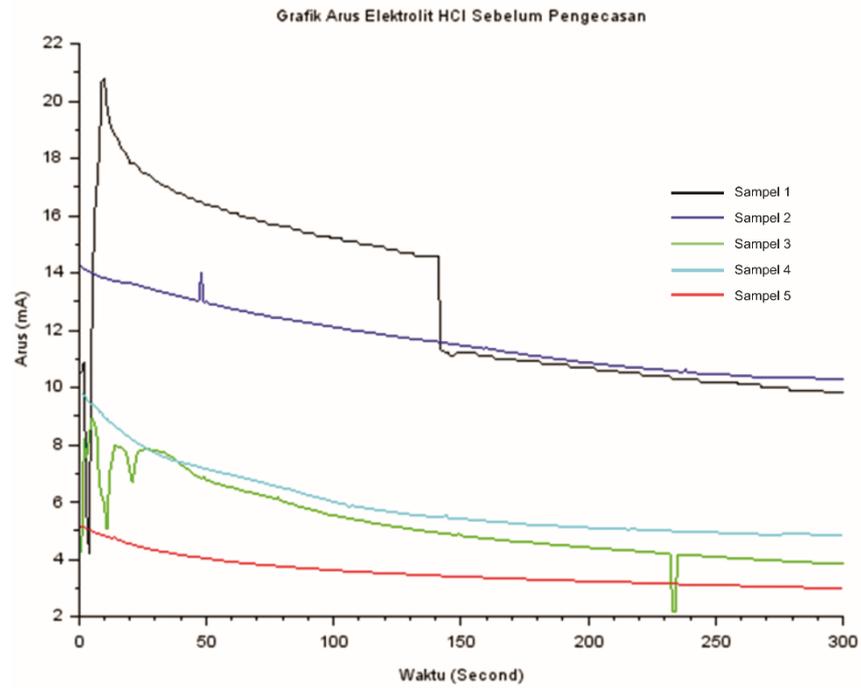


**Gambar 50.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Sebelum Pengecasan

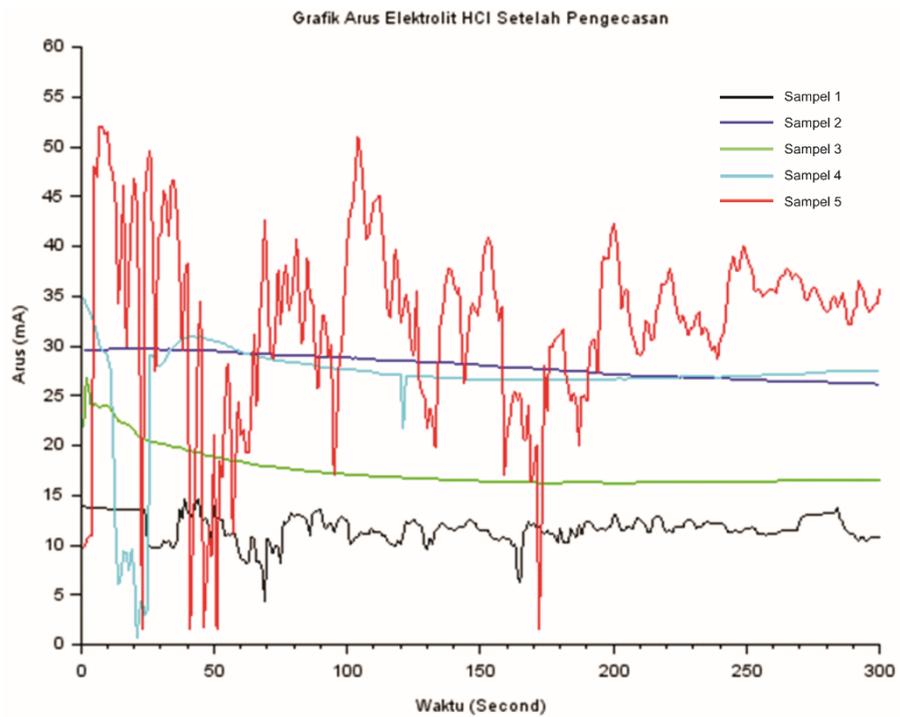


**Gambar 51.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Setelah Pengecasan

**b. Arus**



**Gambar 52.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Sebelum Pengecakan



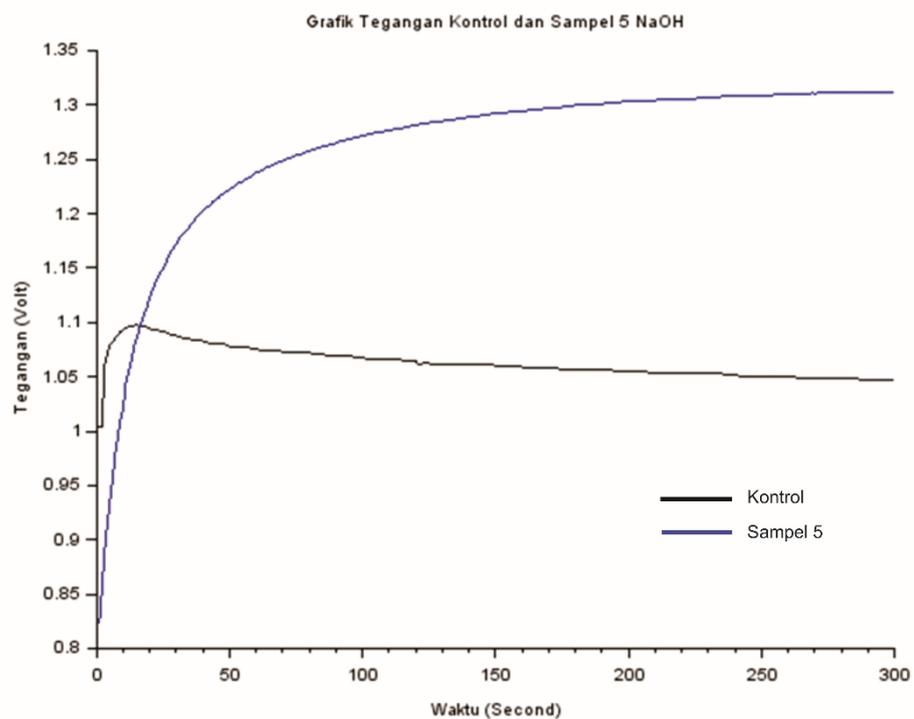
**Gambar 53.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Kelima Lokasi Sampel terhadap Perlakuan Elektrolit HCl Setelah Pengecakan

### C. Grafik Perbandingan Tegangan dan Arus Listrik dari Sel Baterai Terak dan Kontrol

Untuk mengetahui pengaruh penambahan terak terhadap peningkatan tegangan dan arus listrik dari baterai, maka dilakukan pengukuran tegangan dan arus listrik dari elektrolit NaOH dan HCl tanpa campuran terak (Kontrol). Selanjutnya membandingkan tegangan dan arus listrik tertinggi yang dihasilkan dari baterai terak yang menggunakan elektrolit NaOH dan HCl dari Sampel Lokasi 5.

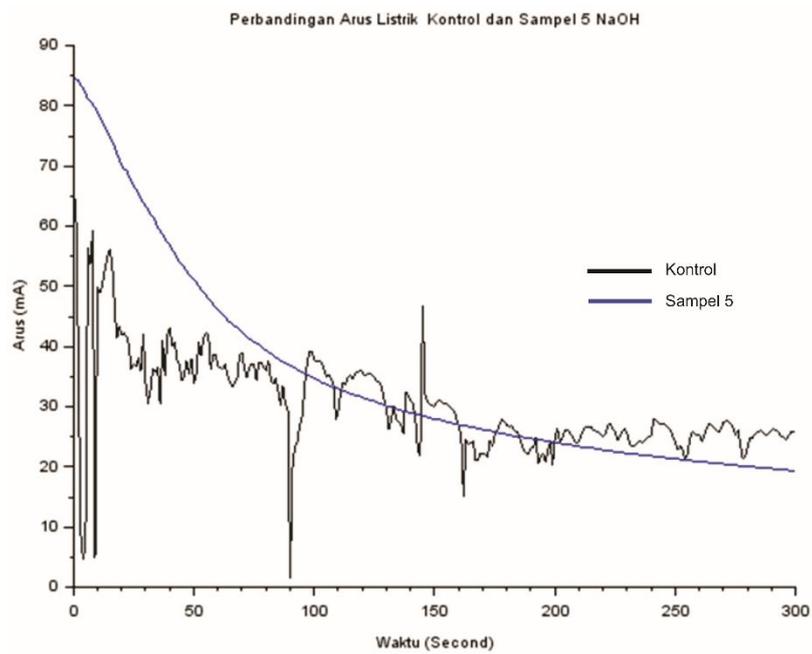
#### 1) Elektrolit NaOH

##### a. Tegangan



**Gambar 54.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Sampel 5 Elektrolit NaOH dan Kontrol

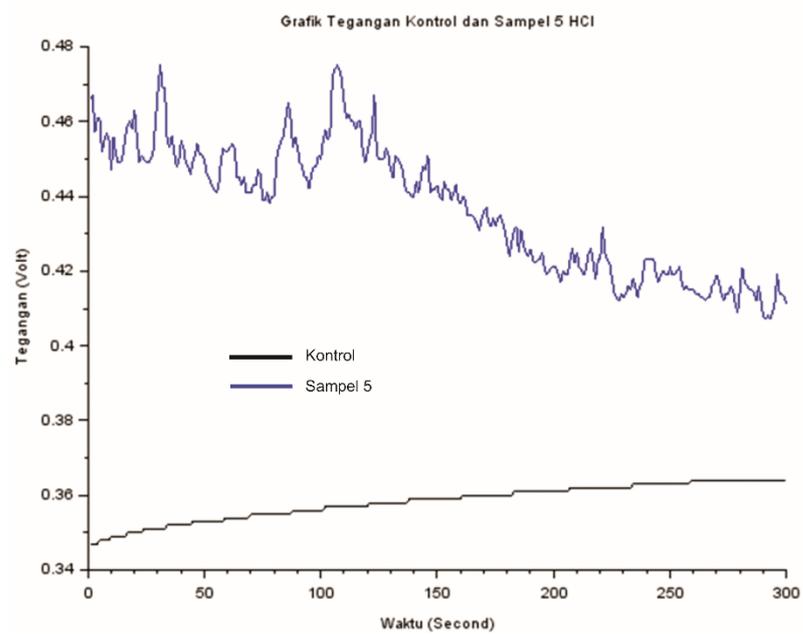
## b. Arus



**Gambar 55.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Sampel 5 Elektrolit NaOH dan Kontrol

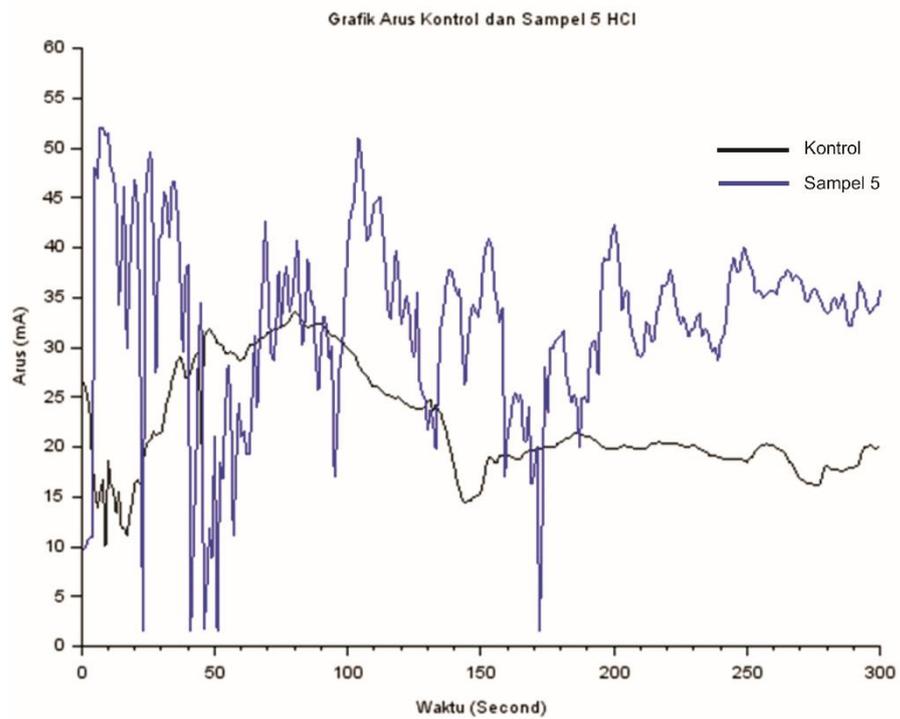
## 2) Elektrolit HCl

### a. Tegangan



**Gambar 56.** Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dari Sampel 5 Elektrolit HCl dan Kontrol

## b. Arus



**Gambar 57.** Grafik Perbandingan Arus Listrik dari Sampel 5 Elektrolit HCl dan Kontrol

## D. Tabel Tegangan dan Arus Listrik Rata-Rata dari 20 Sel Baterai

Untuk mengetahui performa dari setiap baterai selama 5 menit (300 detik), maka data arus dan tegangan listrik yang dihasilkan setelah pengecasan dirata-ratakan seperti dalam table berikut ini:

**Tabel 2.** Tegangan Rata-Rata 20 Sel Baterai Setelah Pengecasan

Lokasi	Elektrolit Kering	Elektrolit Air Distilasi	Elektrolit NaOH	Elektrolit HCl
Sampel 1	0.35 V	0.32 V	1.28 V	0.86V
Sampel 2	0.34 V	0.83 V	0.90 V	0.69 V

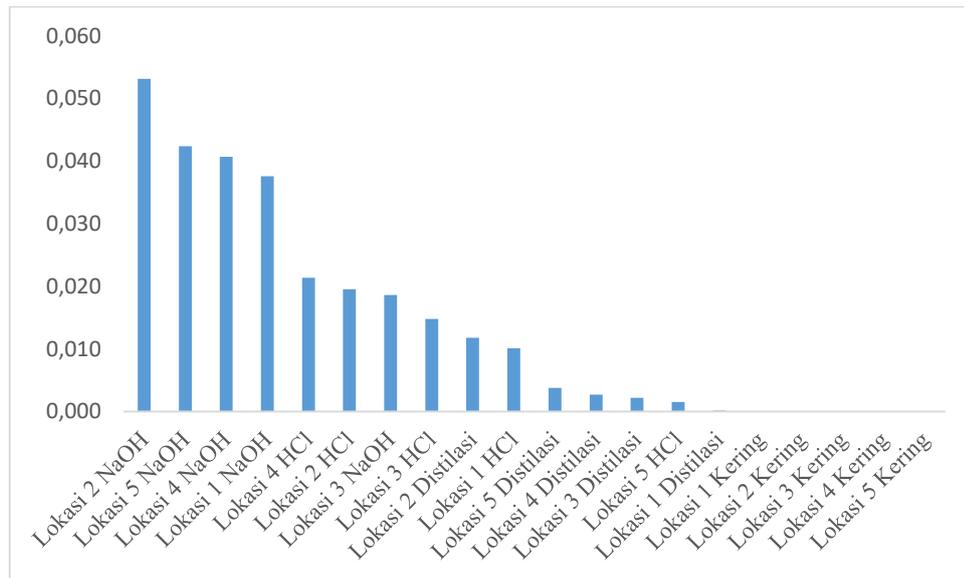
Lokasi	Elektrolit Kering	Elektrolit Air Distilasi	Elektrolit NaOH	Elektrolit HCl
Sampel 3	0.22 V	1.2 V	0.97 V	0.85 V
Sampel 4	0.5 V	1.21 V	1.2 V	0.81 V
Sampel 5	0.37 V	1.18 V	1.26 V	0.66 V

**Tabel 3.** Arus Rata-Rata 20 Sel Baterai Setelah Pengecasan

Lokasi	Elektrolit Kering	Elektrolit Air Distilasi	Elektrolit HCl	Elektrolit NaOH
Sampel 1	0 mA	0.53 mA	30.4 mA	11.75 mA
Sampel 2	0 mA	14 mA	57.3 mA	28 mA
Sampel 3	0 mA	1.85 mA	19.74mA	17.36 mA
Sampel 4	0 mA	2.24 mA	33 mA	26.8 mA
Sampel 5	0 mA	3.20 mA	34.59 mA	32.79 mA

### E. Kapasitas dan Densitas dari Sel dengan Daya Tertinggi

Dari hasil pengujian terhadap 20 sel baterai, maka daya tertinggi rata-rata dihasilkan oleh sel baterai berasal dari lokasi 2 dengan penambahan elektrolit NaOH sebesar 5% yaitu sebesar 0.053 Watt. Dibawah ini merupakan grafik urutan daya tertinggi yang dihasilkan dari setiap perlakuan:



**Gambar 58.** Daya Rata-rata dari 20 Sel Baterai

Dari grafik diatas, daya tertinggi didominasi oleh penambahan elektrolit Natrium Hidroksida (NaOH) 5% dengan terak nikel, selanjutnya diikuti oleh penambahan elektrolit Hidrogen Klorida (HCl) sebesar 5 % dan terakhir dengan penambahan Air Distilasi. Semua sel dengan perlakuan elektrolit kering tidak menghasilkan daya, hal ini karena tidak ada arus listrik yang dihasilkan dari hasil pengukuran selama 5 menit.

Selanjutnya dilakukan pengukuran total kapasitas dan densitas terhadap sel dengan daya tertinggi sampai pada titik minimum sel sehingga menghasilkan data seperti yang dapat dilihat pada tabel dibawah:

**Tabel 4.** Kapasitas dan Densitas dari Sel Baterai Lokasi 2 NaOH

Kapasitas Total (mAh)	Daya Rata-Rata (Wh)	Densitas (W/gr)	Arus Rata-Rata (mA)	Muatan Listrik (Q)	Jam Kerja (Jam)
2592	15.12	0.271	43	302	7

Pengukuran dilakukan selama kurang lebih 7 jam dihasilkan Tegangan dan Arus listrik pada detik pertama sebesar 0.23 Volt dan 126 mA. Berdasarkan data diatas, maka dapat diasumsikan bahwa daya rata-rata (Power) yang dihasilkan

sel selama 1 jam adalah sebesar 15.12 Watt. Sedangkan kerapatan daya terhadap berat sel adalah sebesar 0.271 Watt Per Gram. Jika dirata-ratakan, maka arus listrik yang mengalir dari sel adalah sebesar 43 mili Amper atau jika dihitung, maka arus listrik rata-rata yang mengalir selama 1 jam adalah sebesar 2592 mili Amper.

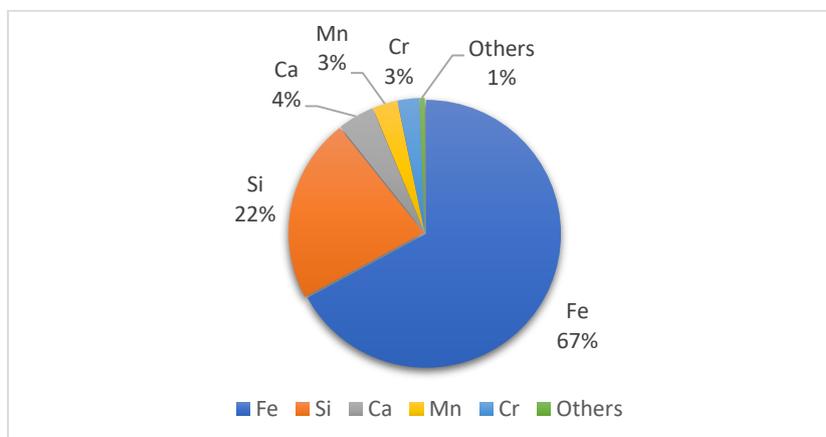
## F. Pengujian Komposisi Unsur Hasil Perlakuan Elektrolit

Untuk mengetahui jenis logam yang mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan baterai, maka dilakukan pengujian unsur ion logam setelah direaksikan (Pinandita, Haryono, & Suharyanto, 2016).

Pada penelitian ini, pengujian unsur logam dilakukan menggunakan alat Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) terhadap keempat perlakuan (NaOH, HCl, Distilasi, dan Kering) yang masing-masing menghasilkan daya listrik tertinggi. Hasil pengujian dari keempat sampel dapat dilihat pada diagram dibawah:

### 1) Komposisi Unsur Sampel Terak Elektrolit Kering

Sel baterai yang menggunakan terak dari lokasi 4 tanpa penambahan elektrolit dan setelah melalui proses pengecakan, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada sampel seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini:



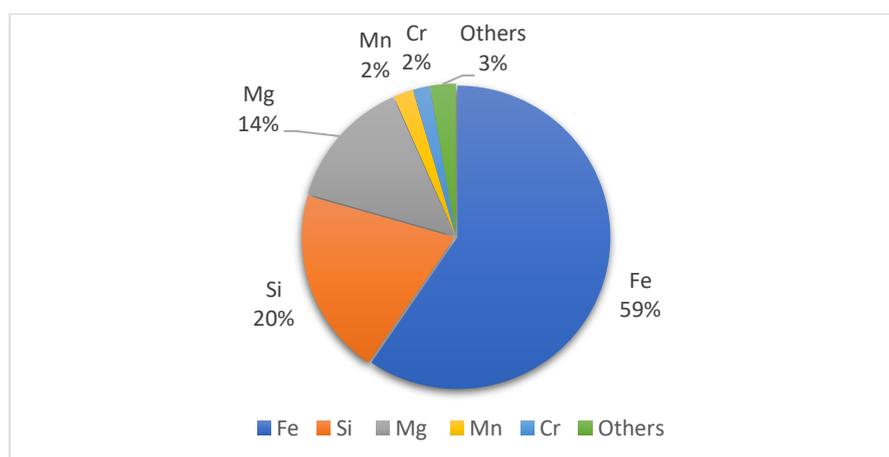
**Gambar 59.** Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 4 Elektrolit Kering

Dari diagram diatas, maka jenis unsur dapat dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan konsentrasinya. Unsur yang pertama memiliki komposisi terbesar diatas 1% dan secara umum terdapat pada terak seperti Besi dalam bentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 67.07% dan Silikat dalam bentuk  $\text{SiO}_2$  sebesar 22.27%, Kalsium dalam bentuk  $\text{CaO}$  sebesar 4.42%, Mangan dalam bentuk  $\text{MnO}$  sebesar 3.01% dan Krom dalam bentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sebesar 2.58%.

Adapun unsur dengan komposisi dibawah 1% yaitu Nikel dalam bentuk Ni sebesar 0.47%, Zinc dalam bentuk  $\text{ZnO}$  sebesar 0.08%, Strontium dalam bentuk  $\text{SrO}$  sebesar 0.05%, Niobium dalam bentuk  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  sebesar 0.02% dan terakhir Indium dalam bentuk  $\text{In}_2\text{O}_3$  sebesar 0.0097%.

## 2) Komposisi Unsur Sampel Terak dengan Elektrolit Air Distilasi

Sel baterai yang menggunakan terak dari lokasi 2 dengan penambahan elektrolit Air Distilasi menghasilkan Daya Rata-Rata sebesar 0.012 Watt. Setelah itu dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada sampel seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini:



**Gambar 60.** Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 2 Elektrolit Air Distilasi

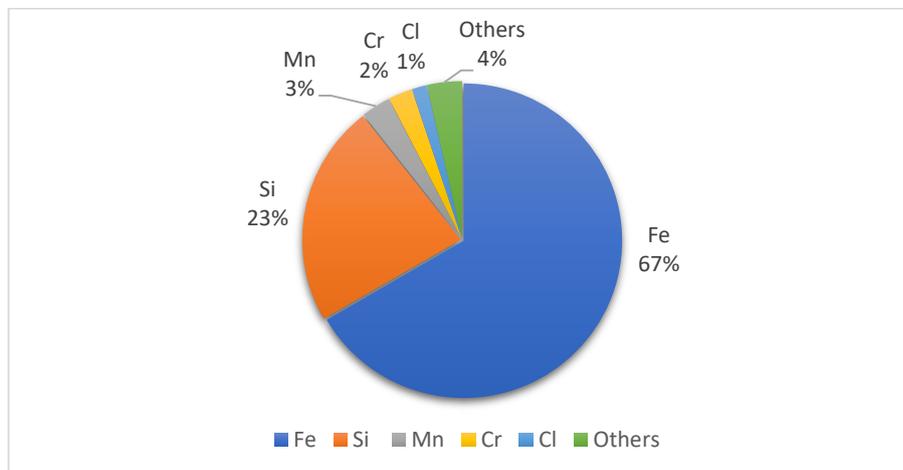
Dari diagram diatas, maka jenis unsur dapat dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan konsentrasinya. Unsur yang pertama memiliki komposisi terbesar

diatas 1% dan secara umum terdapat pada terak seperti Besi dalam bentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 59.48% dan Silikat dalam bentuk  $\text{SiO}_2$  sebesar 19.89%, Magnesium dalam bentuk senyawa  $\text{MgO}$  sebesar 13.95%, Mangan dalam bentuk  $\text{MnO}$  sebesar 2.1% dan Krom dalam bentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sebesar 1.78%.

Adapun unsur dengan komposisi dibawah 1% yaitu Oksida Sulfur dalam bentuk  $\text{SO}_3$  sebesar 0.93 %, Nikel dalam bentuk Ni sebesar 0.8%, Kalsium dalam bentuk  $\text{CaO}$  sebesar 0.54%, Oksida Phospat sebesar 0.38%, Zinc dalam bentuk  $\text{ZnO}$  sebesar 0.06%, dan unsur lain seperti Cu, Nb, In, Sn dengan konsentrasi dibawah 0.007%.

### 3) Komposisi Unsur Sampel Terak Elektrolit HCl

Sel baterai yang menggunakan terak dari lokasi 4 dengan penambahan elektrolit Asam Klorida (HCl), menghasilkan Daya Rata-Rata sebesar 0.021 Watt. Setelah itu dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada sampel seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini:



**Gambar 61.** Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 4 Elektrolit HCl

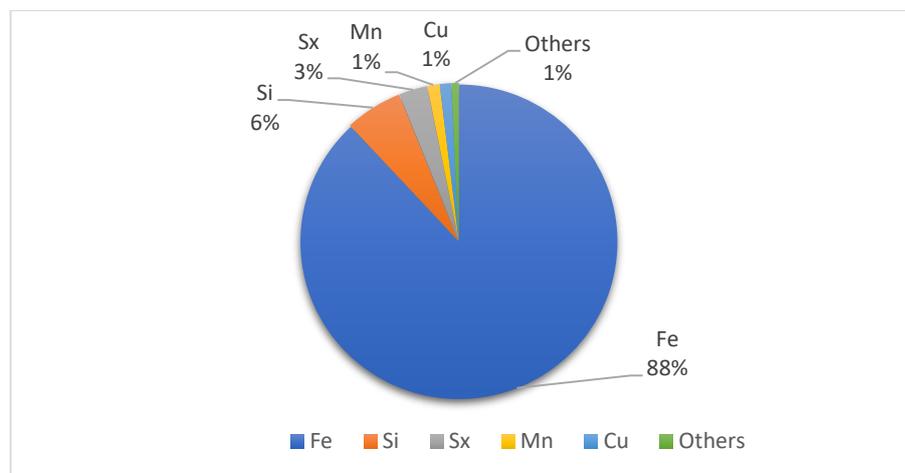
Dari diagram diatas, maka jenis unsur dapat dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan konsentrasinya. Unsur yang pertama memiliki komposisi terbesar diatas 1% dan secara umum terdapat pada terak seperti Besi dalam bentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 66.56% , Silikat dalam bentuk  $\text{SiO}_2$  sebesar 22.78%, Mangan dalam bentuk

MnO sebesar 3.01% , Krom dalam bentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sebesar 2.48% dan Klor dalam bentuk Cl sebesar 1.52%.

Adapun unsur dengan komposisi dibawah 1% yaitu Kalsium dalam bentuk CaO sebesar 1.48%, Titanium dalam bentuk  $\text{TiO}_2$  sebesar 0.86%, Nikel dalam bentuk NiO sebesar 0.62%, Oksida Phospat dalam bentuk Px sebesar 0.57%, dan Zinc dalam bentuk ZnO sebesar 0.12%. Adapun unsur yang konsentrasinya kurang dari 0.08% adalah Nb, Mo, dan In.

#### 4) Komposisi Unsur Sampel Terak Elektrolit NaOH

Sel baterai yang menggunakan terak dari lokasi 2 dengan penambahan elektrolit Natrium Hidroksida (NaOH), menghasilkan Daya Rata-Rata sebesar 0.053 Watt. Setelah itu dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada sampel seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini:

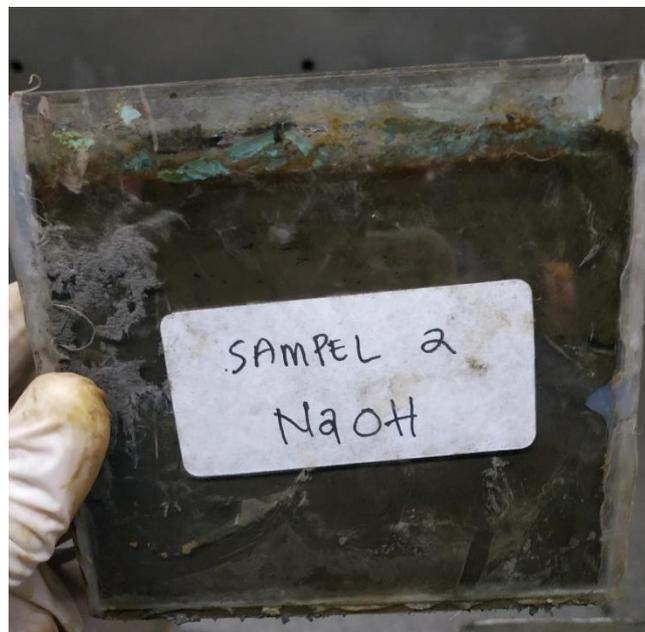


**Gambar 62.** Komposisi Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 2 Elektrolit NaOH

Dari diagram diatas, maka jenis unsur dapat dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan konsentrasinya. Unsur yang pertama memiliki komposisi terbesar dan secara umum terdapat pada terak seperti Besi dalam bentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 88.04%, Silikat dalam bentuk  $\text{SiO}_2$  sebesar 5.87%, Oksida Sulfur dalam bentuk  $\text{SO}_3$  sebesar 2.9%, Mangan dalam bentuk MnO sebesar 1.26%, Tembaga dalam bentuk CuO sebesar 0.88%.

Adapun unsur dengan komposisi sangat kecil yang umumnya berada dibawah konsentrasi 1% seperti Nikel dalam bentuk NiO sebesar 0.56 %, Niobium dalam bentuk Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sebesar 0.01%, dan unsur lainnya kurang dari 0.03% seperti Ga, Mo, Sn, dan In.

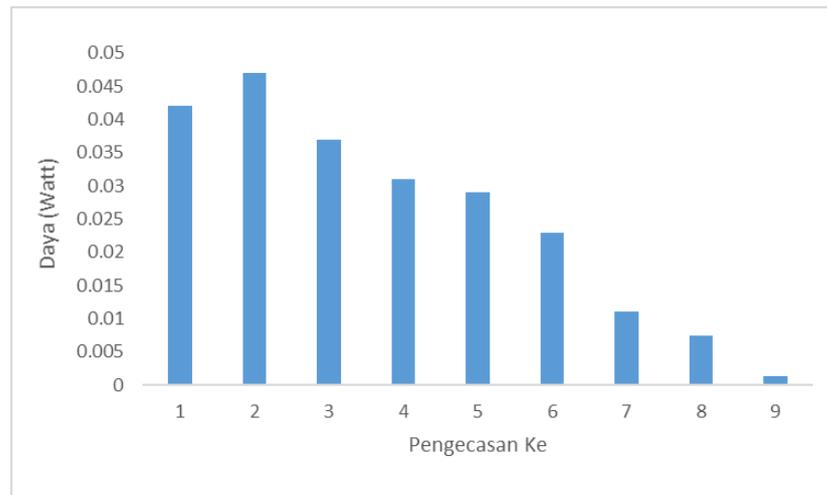
Dari keempat sampel yang diuji, unsur nikel tertinggi ditemukan pada pencampuran terak dari lokasi 2 dengan elektrolit Air Distilasi dan NaOH sebesar 0.8% dan 0.56%. Hal ini diperkuat oleh adanya plak berwarna kehijauan yang mirip dengan senyawa nikel laterit saat eksplorasi di lapangan, seperti gambar yang disajikan dibawah ini:



**Gambar 63.** Plak Hijau pada Sel Baterai dari Lokasi 2 dengan Elektrolit NaOH

### **G. Analisis *Sustainability* dan Nilai Ekonomis Baterai**

Inovasi baterai terak mampu menghasilkan daya yang *Sustainable*. Baterai terak dapat digunakan 7 hingga 10 kali pengisian. Dengan penurunan daya hingga penggunaan ulang terakhir baterai berkisar 26%-53% dari daya awal baterai. Berikut merupakan grafik pengujian *durability* baterai terhadap proses pengisian dari salah satu sampel baterai:



**Gambar 64.** Grafik Penurunan Daya dari Proses Pengecasan Baterai dari Sampel Lokasi 5 Perlakuan NaOH

Dari hasil pengamatan diatas, daya baterai tidak memungkinkan lagi untuk diukur setelah pengecasan ke-9, hal ini dikarenakan lempeng elektroda sudah mengalami keropos dan harus diganti.

Dua hal yang harus diperhatikan adalah kehadiran elektrolit serta elektroda pada baterai. Keringnya elektrolit dapat menyebabkan daya yang dihasilkan kecil atau bahkan menghilang. Sedangkan elektroda baterai terak dapat mengalami keropos akibat reaksi elektrokimia yang terjadi saat pengisian ulang daya.

Untuk mengetahui keekonomisan baterai, maka perlu dilakukan perhitungan biaya pembuatan 1 sel baterai terak lalu dibagi per volt ampere (VA) yang dihasilkan dan dibandingkan dengan harga daya yang dihasilkan dari baterai komersil jenis AA. Berikut merupakan table perhitungan ekonomis baterai terak:

**Tabel 5.** Perhitungan Ekonomis tiap Sel Baterai Terak

No.	Material	Harga Satuan (Rp)	Unit per Sel Baterai	Total (Rp.)
1.	Akrilik 2mm	50/cm <sup>2</sup>	240 cm <sup>2</sup>	12.000
2.	Plat Tembaga 0.2mm	48/cm <sup>2</sup>	100 cm <sup>2</sup>	4.800
3.	Plat Seng	135/cm <sup>2</sup>	100 cm <sup>2</sup>	13.500

No.	Material	Harga Satuan (Rp)	Unit per Sel Baterai	Total (Rp.)
4.	Elektrolit	40/ml	50 ml	2.000
Total harga per sel baterai terak				<b>32.300</b>

Keekonomisan baterai terhadap daya yang dihasilkan dapat dilihat dari perbandingan biaya per baterai dibagi kapasitas (mAh) baterai. Untuk baterai terak, Rp. 32.300,- dibagi 2592 mAh menghasilkan angka 12.46 rupiah per mAh. Sedangkan jika dibandingkan dengan baterai rechargeable Ni-MH merek Enelop Panasonic ukuran AA dengan kapasitas 2000 mAh dan harga Rp. 46.250,- menghasilkan angka 23.12 rupiah per mAh.

#### H. Potensi Inovasi dalam Mengurangi Dampak Lingkungan Terak

Selain memberikan sebuah inovasi pemanfaatan terak sebagai sumber energy alternative, baterai terak juga berpotensi mengurangi dampak buruk lingkungan dari timbunan terak di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) dengan menjadikan baterai terak sebagai sumber energi listrik setiap rumah penduduk sekitar perusahaan dalam bentuk Baterai Bawah Tanah atau *Ground Battery*.

Tercatat, pada tahun 2014 terdapat sekitar 64.457 kepala keluarga yang tinggal di kabupaten Luwu Timur (Cipta Karya PU, 2016). Dari total tersebut, terdapat sekitar 56.677 atau sebesar 87% kepala keluarga yang mendapatkan akses aliran listrik (BPS Luwu Timur, 2017). Terdapat sekitar 7.780 kepala keluarga yang belum mendapat akses listrik.

Jika ingin mengaplikasikan inovasi baterai terak terhadap 7.780 kepala keluarga yang belum dialiri listrik dengan asumsi energi listrik yang dibutuhkan per kepala keluarga berkapasitas 900VA. Maka dari setiap sel Baterai Terak dengan berat 209 gram dan daya maksimum sebesar 0.052 watt, akan membutuhkan sekitar 132 Ton terak nikel dalam membangun *Ground Battery*.

Inovasi ini tentunya akan mengurangi dampak lingkungan dari timbunan terak pada lokasi TPS PT. Vale Indonesia seperti pelindihan dan pencemaran muka air tanah.

## I. Pembahasan

Dari data-data hasil temuan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat dijelaskan beberapa poin yang telah dirumuskan dalam rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Tegangan listrik rata-rata tertinggi dihasilkan dari sel baterai menggunakan terak yang berasal dari lokasi 1 dengan perlakuan NaOH atau disingkat Lokasi 1 NaOH, dengan tegangan sebesar 1.28 Volt. Selanjutnya urutan tegangan rata-rata dari tertinggi sampai terendah dari hasil eksperimen adalah: Lokasi 5 NaOH sebesar 1.26 Volt, Lokasi 4 NaOH sebesar 1.24 Volt, Lokasi 4 Air Distilasi sebesar 1.21 Volt, Lokasi 3 Air Distilasi sebesar 1.2 Volt, Lokasi 5 Air Distilasi sebesar 1.18 Volt, Lokasi 3 NaOH sebesar 0.97 Volt, Lokasi 2 NaOH sebesar 0.93 Volt, Lokasi 1 HCl sebesar 0.86 Volt, Lokasi 3 HCl sebesar 0.85 Volt, Lokasi 2 Air Distilasi sebesar 0.83 Volt, Lokasi 4 HCl sebesar 0.81 Volt, Lokasi 2 HCl sebesar 0.7 Volt, Lokasi 5 HCl sebesar 0.65 Volt, Lokasi 4 Kering sebesar 0.51 Volt, Lokasi 5 Kering sebesar 0.38 Volt, Lokasi 1 Kering sebesar 0.35 Volt, Lokasi 2 Kering sebesar 0.34 Volt, Lokasi 1 Air Distilasi sebesar 0.31 Volt, dan terakhir, tegangan terendah dihasilkan dari sel baterai Lokasi 3 Kering sebesar 0.22 Volt.
- 2) Arus listrik rata-rata tertinggi dihasilkan oleh sel baterai yang menggunakan terak dari Lokasi 2 NaOH sebesar 57.34 mili Amper. Selanjutnya secara berurutan diikuti oleh Lokasi 5 NaOH sebesar 34.59 mili Amper, Lokasi 4 NaOH sebesar 33.01 mili Amper, Lokasi 5 HCl sebesar 32.78 mili Amper, Lokasi 1 NaOH sebesar 30.36 mili Amper, Lokasi 2 HCl sebesar 28.01, Lokasi 4 HCl sebesar 26.87, Lokasi 3 NaOH sebesar 19.74 mili Amper, Lokasi 3 HCl sebesar 17.35 mili Amper, Lokasi 2 Air Distilasi sebesar 14.22 mili Amper, Lokasi 1 HCl sebesar 11.75 mili Amper, Lokasi 5 Air Distilasi sebesar 3.2 mili Amper, Lokasi 4 Air Distilasi sebesar 2.24 mili Amper, Lokasi 3 Air Distilasi sebesar 1.84 mili Amper, dan arus listrik terendah dihasilkan dari pencampuran Terak dari Lokasi 1 dengan Air Distilasi sebesar 0.53 mili Amper. Sel baterai

yang berasal dari perlakuan elektrolit kering (tanpa elektrolit) tidak menghasilkan arus listrik sama sekali.

- 3) Metode yang paling efektif dari ke-5 lokasi pada TPS Delaney PT. Vale Indonesia dalam menghasilkan Daya listrik berasal dari Pencampuran Terak Nikel (*Nickel Slag*) terhadap elektrolit Basa jenis Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi sebesar 5%, selanjutnya diikuti oleh pencampuran terak terhadap elektrolit Asam jenis Asam Klorida (HCl) konsentrasi 5%, pencampuran terak nikel dengan Air Distilasi dan terakhir, perlakuan yang paling tidak efektif adalah tanpa penambahan elektrolit (elektrolit kering) karena walaupun dapat menghasilkan tegangan listrik, namun perlakuan terak dengan elektrolit kering tidak dapat menghasilkan arus listrik sama sekali. Hal ini memberikan bukti bahwa untuk menghantarkan sebuah elektron atau ion bebas yang ada pada sel baterai terak, dibutuhkan sebuah media berupa cairan elektrolit.
- 4) Pengaliran arus listrik (pengecasan) pada baterai terak nikel terbukti dapat meningkatkan tegangan dan arus listrik sebesar 0.1 sampai 24 kali tegangan dan arus rata-rata sebelum pengecasan. Peningkatan tegangan paling rendah sebesar 10% dari tegangan rata-rata awal dari sel baterai terak Lokasi 2 Kering, dan peningkatan tegangan tertinggi sebesar 350% dari tegangan rata-rata sebelum pengecasan yang berasal dari sel baterai terak Lokasi 2 NaOH. Peningkatan arus terendah sebesar 20% dari sel baterai terak Lokasi 1 Air Distilasi, sedangkan peningkatan arus rata-rata terbesar berasal dari sel baterai Lokasi 2 NaOH sebesar 2405% dari arus rata-rata sebelum pengecasan.
- 5) Dari hasil pengujian unsur menggunakan alat Energy Dispersif X-Ray Fluoresensi (ED-XRF) terhadap ke-4 perlakuan yang menghasilkan daya tertinggi. Maka ditemukan unsur yang secara umum terdapat pada terak dalam jumlah besar seperti Besi (Fe), Silikat (Si), dan Mangan (Mn). Sedangkan unsur yang secara umum ditemukan dalam jumlah relatif kecil adalah Nikel (Ni),

Niobium (Nb), dan Indium (In). Kemunculan unsur Oksida Sulfur (Sx) dalam terak yang berasal sel Lokasi 2 NaOH dalam jumlah besar sangat mempengaruhi Elektroda yang berbahan dasar Tembaga dan Seng dalam menghasilkan listrik, hal ini sejalan dengan reaksi reduksi-oksidasi dari sel baterai sekunder (*Accu*) yang menggunakan Asam Sulfat sebagai elektrolit. Selain itu, kandungan unsur Besi (Fe) pada sel baterai terak Lokasi 2 NaOH yang lebih besar 31% - 49% dari ketiga perlakuan, kemungkinan besar sangat mempengaruhi sel baterai dalam menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar.

- 6) Unsur-unsur yang ditemukan dari terak nikel seperti Fe, Ti, Ni, dan Cr juga terdapat pada *Metal Alloy* dari baterai Nikel Metal-Hydrate (NiMH) yang terdiri dari unsur V, Ti, Zr, Ni, Cr, Co, Fe dan Mn (Iwakura, Inoue, & Nohara, 2001). Baterai Ni-MH merupakan baterai nikel generasi kedua yang banyak tersedia di pasaran dan digunakan saat ini khususnya dalam pengembangan mobil listrik. Hal ini memungkinkan penggunaan terak nikel dari PT Vale Indonesia sebagai salah satu bahan dasar *Metal Alloy* dari baterai Nikel *Metal-Hydrate*.
- 7) Dari hasil analisis keekonomisan baterai terak dibandingkan baterai AA komersil merek Panasonic Enelop Ni-MH dengan kapasitas 2000 mAh, maka baterai terak lebih ekonomis sebesar 53% dari baterai Panasonic Enelop ukuran AA. Walaupun lebih ekonomis, namun densitas energi dari baterai terak masih lebih kecil dibanding baterai AA komersil.
- 8) Untuk pengaplikasian pada setiap rumah dengan daya 900VA, maka baterai terak mampu menyerap sebesar 16.98 kg terak dari TPS, sehingga inovasi ini berpotensi mengurangi dampak buruk Terak Nikel terhadap lingkungan seperti pelindihan dan pencemaran muka air tanah pada TPS Terak PT. Vale Indonesia Tbk.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan yang dilandaskan dari hasil eksperimen serta analisis data yaitu sebagai berikut:

1. Metode yang paling efektif dalam memanfaatkan Terak yang dihasilkan dari PT. Vale Indonesia Tbk menjadi sumber energi alternatif dalam bentuk baterai adalah dengan penambahan elektrolit basa jenis 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 Amper.
2. Berdasarkan hasil pengukuran baterai menggunakan alat Multimeter Digital terhadap sel baterai terak yang menghasilkan daya rata-rata tertinggi selama lebih dari 7 jam, maka didapatkan data berupa kapasitas rata-rata sebesar 2.592 mili Amper hour (mAh), Daya total yang dihasilkan sebesar 15,12 Watt dengan kerapatan Daya terhadap massa baterai sebesar 0.271 Watt per Gram (W/gr) serta muatan listrik sebesar 302 Coloumb.
3. Dari proses pengujian dengan mengalirkan arus listrik (pencegasan) dalam waktu 2 jam dengan arus sebesar 5 Amper dan Tegangan 5 Volt, maka terbukti bahwa baterai terak dapat menyimpan energi listrik dengan Tegangan dan Arus bervariasi dari ke-4 perlakuan.
4. Hasil pengujian unsur-unsur menggunakan alat *Energy Dispersif X-Ray Fluorescence* (ED-XRF) terhadap ke-4 perlakuan sel baterai dengan daya tertinggi, maka unsur yang berpengaruh dalam menghasilkan tegangan dan arus tertinggi adalah Besi (Fe) dan Oksida Sulfat (Sx).

5. Pemanfaatan Terak Nikel PT Vale Indonesia sebagai bahan pembuatan baterai terak dapat meminimalisir timbunan terak pada *dumpsite*, meningkatkan nilai tambah terak serta meningkatkan kualitas pengelolaan lingkungan perusahaan terhadap Limbah B3 (Konsep 4R).
6. Penggunaan Terak Nikel menjadi sebuah inovasi Baterai Terak dapat menyerap sekitar 132 Ton terak untuk penggunaan sebanyak 7.780 rumah dengan kapasitas 900VA, hal ini dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang ditimbulkan dari penyimpanan terak di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Terak seperti pencemaran muka air tanah dan pelindihan.

## **B. Saran**

Untuk mendukung pengembangan berkelanjutan dari penelitian baterai terak, maka peneliti memberikan saran berupa:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan konfigurasi elektroda jenis lain serta memperkecil ukuran (*scale-down*) pada sel baterai.
2. Penggunaan elektrolit basa (NaOH) dapat digantikan dengan Kalium Hidroksida (KOH) sesuai dengan elektrolit yang digunakan pada baterai Ni-MH.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat memperhatikan metode yang lebih akurat dalam menentukan unsur-unsur yang berperan dalam menghasilkan Arus dan Tegangan listrik pada baterai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abruna, H. D., Kiya, Y. & Henderson, J. C., 2008. Batteries and Electrochemical Capacitors. *American Institute of Physics*, pp. 43-47.
- Afif, M. T. & Pratiwi, I. A. P., 2015. Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, VI(2), pp. 95-99.
- Agarwal, A. & Narain, S., 2003. *Global Warming in an Equal World ; A Case of Environmental Colonialism*. 2nd ed. New Delhi: Centre for Science and Environment.
- Ari, 2019. *Ilmu Geografi*. [Online] Available at: <https://ilmugeografi.com/geologi/daerah-penghasil-nikel-di-indonesia> [Accessed 30 Agustus 2019].
- BPS Luwu Timur, 2019. Jumlah Listrik yang Disalurkan, Produksi, Tenaga Kerja dan Pelanggan PLN Menurut ULP di Kabupaten Luwu Timur Tahun, 2017. diakses pada 20 Juni 2020 dari <https://luwutimurkab.bps.go.id/dynamictable/2019/12/05/89/jumlah-listrik-yang-disalurkan-produksi-tenaga-kerja-dan-pelanggan-pln-menurut-ulp-di-kabupaten-luwu-timur-tahun-2017>
- Brown , T. L. et al., 2012. *Chemistry the Central Science*. 12nd ed. New York: Pearson.
- Edwaren Liun, S., 2014. Perbandingan Harga Energi dari Sumber Energi Baru Terbarukan dan Fosil. *Junal Pengembangan Energi Nuklir*, XVI(2), pp. 119-130.
- Ekatjahjana, W., 2018. *Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara*, Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia.
- Giorgi, L. & Leccese, F., 2013. Fuel Cell: technologies and Application. *The Open Fuel Cell Journal*, Volume 6, pp. 1-20.
- Iwakura, C., Inoue, H., & Nohara, S. (2001). Hydrogen–Metal Systems: Electrochemical Reactions (Fundamentals and Applications). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition)*, 3923-3941.
- Jefriyanto , W., 2018. Analisis Karakteristik Paduan Logam Oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Slag Nikel. *Journal Neutrino*, I(1), pp. 33-38.

- Juvelyn, D. S., Ruben, A. J. F., Robert, M. F. & Cesar, D. G., 2012. Characterization and Leaching Assessment of Ferronickel Slag from a Smelting Plant in Iligan City, Philippines. *International Journal of Environmental Science and Development*, III(5), pp. 470-474.
- Khan, N., Saleem, Z. & Abas, N., 2008. *Experimental Study of Earth Battery*. Lahore, University of Engineering and Technology.
- Maniyar, M., Patil, N., Jadhav, S. & Dhokle, S., 2013. Uninterruptable Power Supply Using Earth Battery and Solar Panel. *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences*, pp. 107-112.
- Martono, 2015. Fenomena Gas Rumah Kaca. *Forum Teknologi*, V(2), pp. 78-85.
- Muhlisin, M., Soedjarwanto, N., & Komaruddin, M. (2015). Pemanfaatan Sampah Kulit Pisang dan Kulit Durian sebagai Bahan Alternatif Pengganti Pasta Batu Baterai. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 137-147.
- Mustika, W., Sudarsana, K. & Salain, I. M. A. K., 2016. Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dalam Campuran Beton. *Jurnal Spektran*, IV(2), pp. 36-40.
- NASA, 2019. *Global Climate Change ; Vital Sign of the Planet*. [Online] Available at: <https://climate.nasa.gov/evidence/> [Accessed 12 September 2019].
- Nursahan , I., Isnaniawardhani, V. & Sulaksana, N., 2013. Penentuan Kawasan Pertambangan Berbasis Sektor Komoditas Unggulan Sumberdaya Nikel Kabupaten Konawe dan Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, pp. 41-53.
- Nursahan, I., Isnaniawardhani, V. & Sulaksana, N., 2013. Penentuan Kawasan Pertambangan Berbasis Sektor Komoditas Unggulan Sumberdaya Nikel Kabupaten Konawe dan Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, VIII(2), pp. 41-53.
- Perdana, A. L., & Sukandar. (2016). KETERLINDIAN LOGAM BERAT DARI PEMANFAATAN LIMBAH SLAG BESI DAN BAJA SEBAGAI AGREGAT CAMPURAN LAPIS PERMUKAAN JALAN. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1-10.
- Pinandita, S., 2016. *Prototipe Cell Baterai Tanah Lempung Merah (Tlm) dengan Elektroda Cu dan Zn*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Pohan, M. P., W, D., J.S, S. & A., A., 2007. *Penyelidikan Potensi Bahan Galian pada Tailing PT Freeport Indonesia di Kabupaten Mimika Provinsi Papua*. Jakarta, PUSAT SUMBER DAYA GEOLOGI.

- Pulungan, N., Febria, M. A., Desma, I., Ayuningsih, D. R., & Nila, Y. (2017). Pembuatan Bio Baterai Berbahan Dasar Kulit Pisang. *Hasanuddin Student Journal*, 96-101.
- Prasetyo, B. H., 2009. Red Soils from Various Parent Materials in Indonesia : the Prospect and their Management Strategic. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, pp. 47-60.
- Rosalina, F. Tjahyandari, D. & Darmawan., 2018. The Potential of Nickel Slag With Humic Substance Addition as Amelioration Materials on Gajrug Red-Yellow Podzolic. , *Sains Tanah*, 15(1), pp. 61-68.
- Setiawan, I., 2016. Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi: Kini dan Penelitian Kedepan. Jakarta, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Sippa.ciptakarya.pu.go.id, 2016. RPI2JM Profil Kabupaten Luwu Timur. Diakses pada 20 Juni 2020, dari [http://sippa.ciptakarya.pu.go.id/sippa\\_online/ws\\_file/dokumen/rpi2jm/DOC\\_RPIJM\\_cd878bf784\\_BAB%20IVbab%204.pdf](http://sippa.ciptakarya.pu.go.id/sippa_online/ws_file/dokumen/rpi2jm/DOC_RPIJM_cd878bf784_BAB%20IVbab%204.pdf)
- Srisumarlinah, W. & Indahyati, T. H., 2016. *Mata Pelajaran Kimia (Teknologi dan Rekayasa) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)*. 1st ed. Jakarta: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan.
- Sulistiyono, 2012. Pemanasan Global (Global Warming) dan Hubungannya dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil. *Forum Teknologi*, II(2), pp. 47-56.
- Suparmin, S., Zakir, M., Rahim, I. R., & Samman, F. A. (2019). Comparative Experimental Power Measurement of Red Soil Battery with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, and NaOH Additive Solutions. *JCREN*. Makassar.
- Winter, M. & Brodd, R. J., 2004. *What are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?*. *Chemical Reviews*, 104(10), pp. 4245-4269.
- Yensen, N. & Allen, P. B., 2019. *Open Source all-iron Battery for Renewable Energy Storage*. *HardwareX* 6, pp. 1-11.
- Zainuddin, M. S. B., 2014. Experimental Analysis of Earth Battery using Different Combination of Metallic and Non-Metallic Solid, Melaka: University Teknikal Malaysia Melaka.

## **LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A**  
**Dokumentasi Penelitian**

➤ **Pengambilan Sampe Terak di TPS Delaney PT Vale Indoensia**



➤ **Pemrosesan Terak**



➤ **Konfigurasi Pengujian Tegangan dan Arus Listrik**



➤ **Penimbangan**

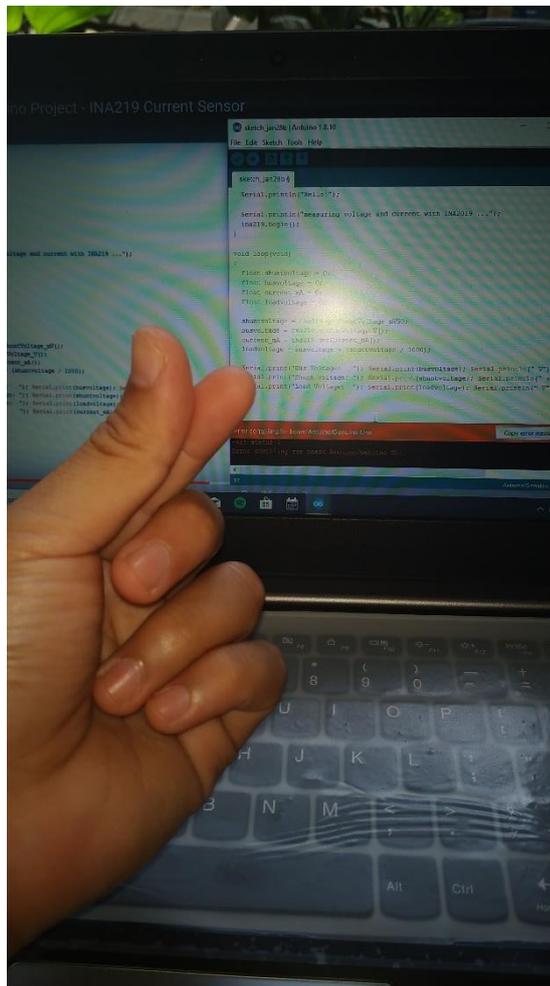
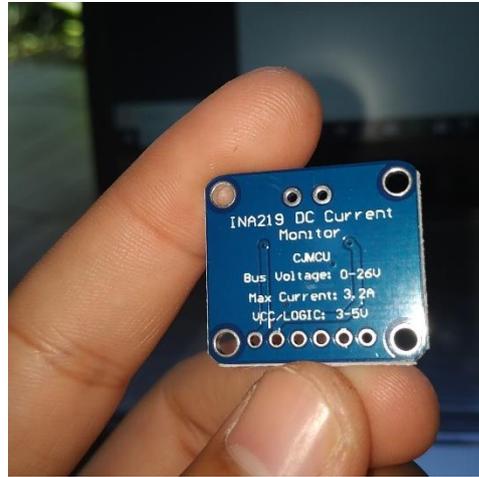


➤ Pengujian Tegangan dan Arus

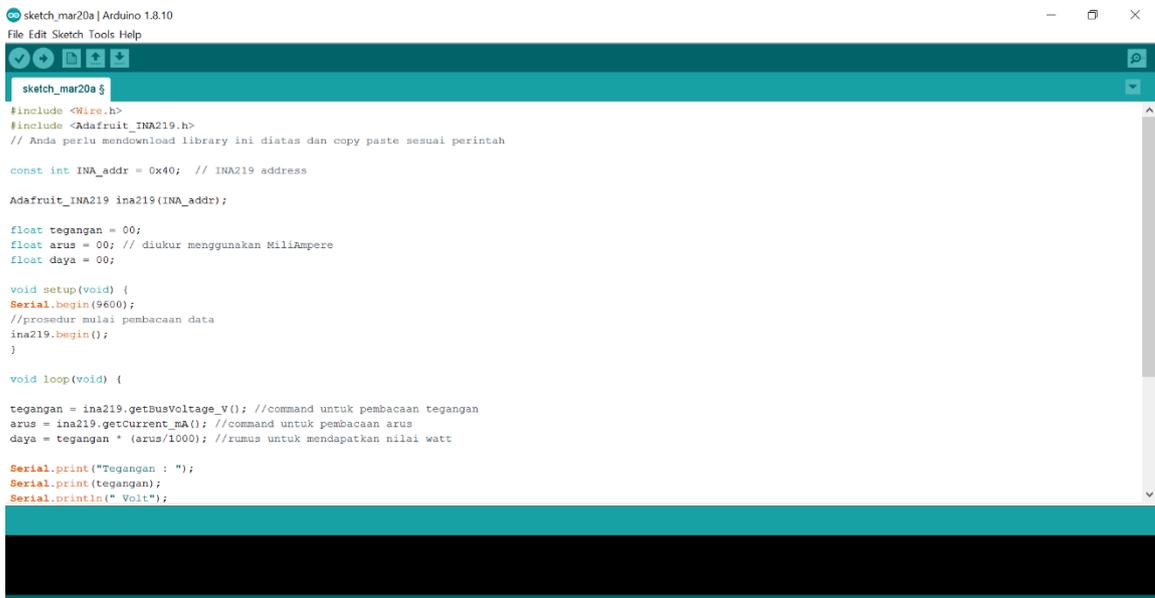


**LAMPIRAN B**  
**Program Pembaca Tegangan  
dan Arus Arduino**

➤ **Sensor Arduino DC INA 219**



## ➤ Bahasa Program Get Current Arduino IDE



```
sketch_mar20a | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help
sketch_mar20a $
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
// Anda perlu mendownload library ini diatas dan copy paste sesuai perintah

const int INA_addr = 0x40; // INA219 address

Adafruit_INA219 ina219(INA_addr);

float tegangan = 0;
float arus = 0; // diukur menggunakan MilliAmpere
float daya = 0;

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  //prosedur mulai pembacaan data
  ina219.begin();
}

void loop(void) {

  tegangan = ina219.getBusVoltage_V(); //command untuk pembacaan tegangan
  arus = ina219.getCurrent_mA(); //command untuk pembacaan arus
  daya = tegangan * (arus/1000); //rumus untuk mendapatkan nilai watt

  Serial.print("Tegangan : ");
  Serial.print(tegangan);
  Serial.println(" Volt");
}
```

**LAMPIRAN C**  
**SOP dan Data Hasil Pengujian**  
**ED-XRF**

## ➤ **STANDAR OPERASIONAL PENGGUNAAN (SOP) X-RAY FLOURESCENCE (EDXRF)**

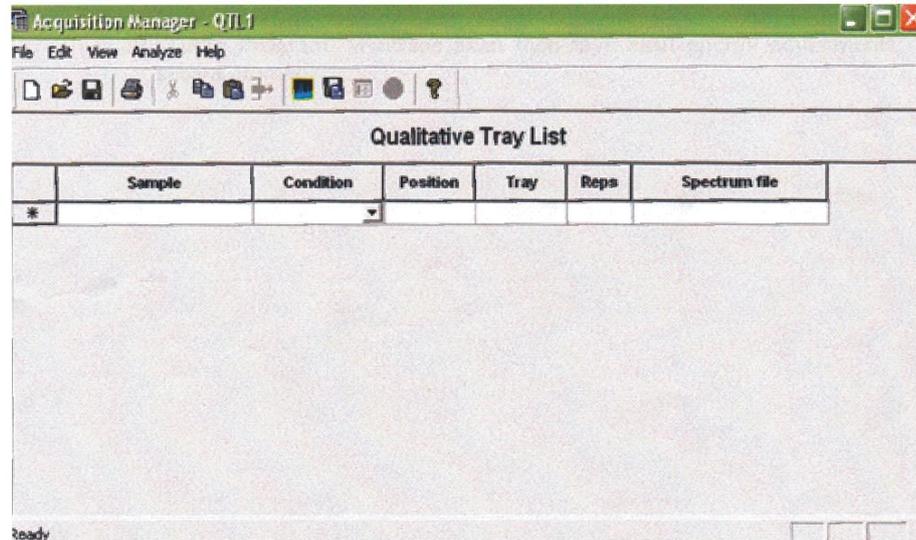
### **I. Turn On Instrument**

1. Hubungkan Power Chord stabilizer kesumber listrik.
2. On kan stabilizer dengan menaikkan saklar yang terdapat di panel depan stabilizer.
3. Led delay akan menyala, tunggu beberapa detik kemudian led delay mati dan jarum voltage meter akan menunjukkan pembacaan 220VAC.
4. Nyalakan UPS dengan menekan tombol "ON" selama beberapa detik.
5. Led bypass akan menyala selama beberapa saat, tunggu beberapa detik kemudian led ac output akan menyala yang menandakan UPS sudah siap digunakan.
6. Fan pada instrument akan langsung menyala saat UPS ON.
7. On kan instrument dengan menekan switch yang berada di panel belakang instrument.
8. Putarkunci X-Ray ke arah Enable
9. Tunggu sekitar 2 jam untuk pendinginan detector.
10. Pada panel depan terdapat Indicator Power yang akan menyala selama instrument ON. Dan terdapat Indicator Detector yang akan berkedip selama suhu detector belum tercapai, dan akan mati jika suhu detector sudah tercapai.

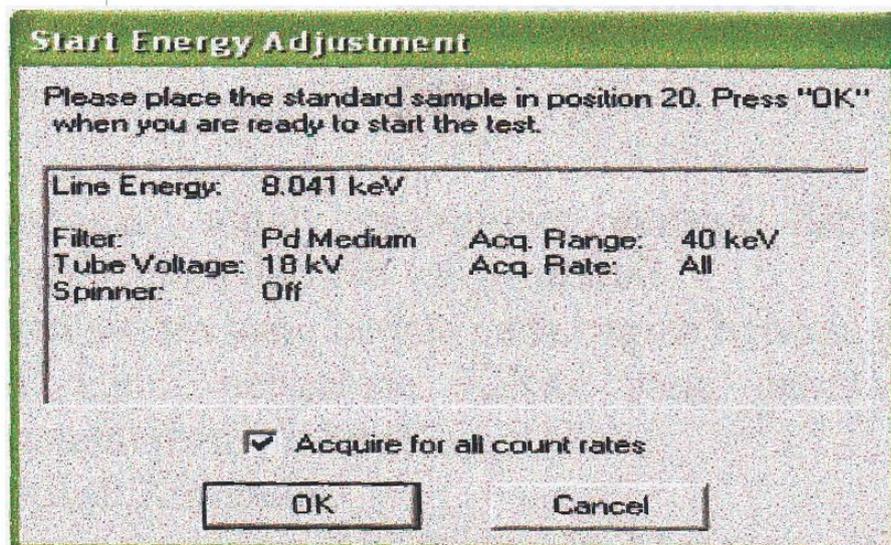
### **II. Energy Adjustmant**

(Proses ini dilakukan sekali sepekan)

1. Hidupkan Instrument
2. Hidupkan computer
3. Tunggu sampai suhu detector mencapai batas normal
4. Letakkan sample Cu kedalam sample tray
5. Jalankan software Acquisition Manager dengancara : **Start – Wintrace – Acquisition Manager**
6. Buka Qualitative Traylist dengancara : **New – Qualitative Tray List** atau dengan menekan **CTRL + Q**  
Maka akan muncul program Qualitative Tray List seperti berikut :



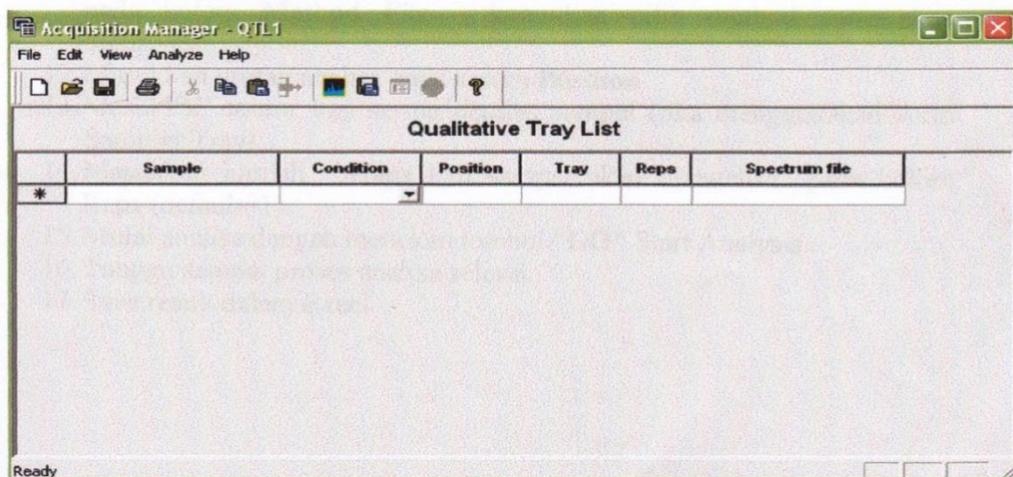
7. Klik menu Analyze, pilih "Energi Adjustment."  
Maka akan muncul pemberitahuan seperti berikut :



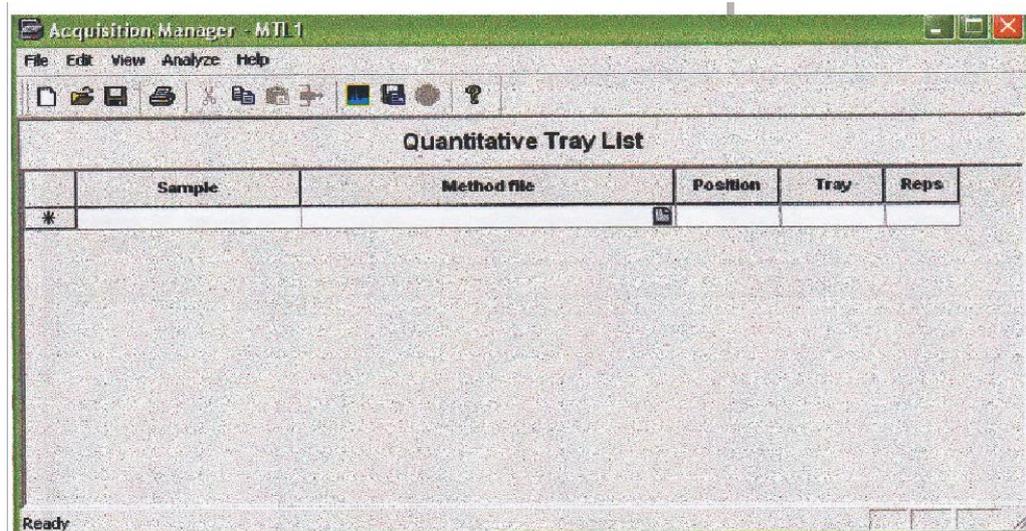
8. Berikan tanda check list pada option **Acquire for all count rates** lalu klik **OK**
9. Tunggu hingga proses analisis selesai
10. Tutup program. Wintrace akan men-save hasil energy adjusment

### III. Routine Analysis

1. Hubungkan supply instrument dengan listrik 220 V. Maka akan terdengar suara dari fan yang menyala.
2. On kan switch yang berada pada bagian belakang instrument
3. Putar kunci pengaman X-Ray yang berada di bagian belakang instrument menjadi Enabled.
4. Hidupkan komputer
5. Jalankan program Spectrometer Manager dengan cara : **Start – WinTrace – Service – Spectrometer Manager** atau melalui icon shortcut pada desktop
6. Perhatikan **Detector Temperatur** pada tab **PCD Status**, tunggu sampai temperatur mencapai batas normal (160-190K). proses pendinginan ini membutuhkan waktu 1 sampai 2 jam.
7. Setelah temperatur pada detector mencapai batas normal, buka program Aquisition Manajer dengan cara : **Start – WinTrace – Acquisition Manager** atau melalui icon shortcut pada desktop. Maka akan muncul Acquisition Manager dengan tampilan seperti berikut :



8. Buka Quantitative Analysis dengan cara :**File – New – Quantitative Try List**. Maka akan muncul foarm seperti berikut :



9. Masukkan sampel yang akan dianalisa pada instrument
10. Masukkan nama sampel yang akan dianalisa
11. Pilih Method yang akan digunakan dengan cara klik icon yang berada pada kolom **Method File** – kemudian pilih Method yang akan digunakan
12. Masukkan urutan analisa pada kolom **Position**
13. Masukkan nomor tray sesuai dengan sampel (jika menggunakan Auto Sampel Tray)
14. Maasukkan jumlah “berapa kali sampel akan di analisa” pada kolom Reps (default = 1)
15. Mulai analisa dengan menekan tombol “**GO**” Start Analysis
16. Tunggu sampai proses analisa selesai
17. Save Result dalam Excel

➤ Hasil Analisis Unsur Terak Lokasi 4 Elektrolit Kering

RAW - Notepad

File Edit Format View Help

SAMPLE ANALYSIS REPORT  
ARL QUANT'X EDXRF ANALYZER

THERMO FISHER SCIENTIFIC  
UNIQUANT(TM) STANDARDLESS METHOD

C:\UQed\USER\Quant'X\Job\JOB.153 2020-02-19  
RAW

Quant'X Rh end window 50kV

C:\UQed\USER\Quant'X\Appl\AnySampleAir.kap 2008-06-13

Calculated as : Elements Matrix (Shape & ImpFc) : 12|Cr-Fe-Ni

X-ray path = Air Film type = No supporting film

Case number = 0 All known

Eff.Diam. = 13.0 mm Eff.Area = 132.7 mm2

KnownConc = 0 %

Rest = 0 %

Viewed Mass = 1000.00 mg

Dil/Sample = 0

Sample Height = 5.00 mm

El	m/m%	StdErr
--	-----	-----
Fe	67.07	0.33
Si	22.27	0.38
Ca	4.42	0.10
Mn	3.01	0.13
Cr	2.58	0.14
Ni	0.474	0.032
Zn	0.084	0.012
Sr	0.0526	0.0098
Nb	0.0272	0.0095
In	0.0097	0.0032

KnownConc= 0

REST= 0

D/S= 0

Sum Conc's before normalisation to 100% : 54.4 %

➤ Hasil Analisis Unsur Terak dari Lokasi 2 Elektrolit Air Distilasi

RAWpDistilasi - Notepad  
File Edit Format View Help

---

SAMPLE ANALYSIS REPORT THERMO FISHER SCIENTIFIC  
 ARL QUANT'X EDXRF ANALYZER UNIQUANT(TM) STANDARDLESS METHOD

---

C:\UQed\USER\Quant'X\Job\JOB.156 2020-02-19  
 RAWpDistilasi

Quant'X Rh end window 50kV  
 C:\UQed\USER\Quant'X\Appl\AnySampleAir.kap 2008-06-13  
 Calculated as : Elements Matrix (Shape & ImpFc) : 12|Cr-Fe-Ni  
 X-ray path = Air Film type = No supporting film  
 Case number = 0 All known  
 Eff.Diam. = 13.0 mm Eff.Area = 132.7 mm2  
 KnownConc = 0 %  
 Rest = 0 % Viewed Mass = 1000.00 mg  
 Dil/Sample = 0 Sample Height = 5.00 mm

El	m/m%	StdErr
--	-----	-----
Fe	59.48	1.82
Si	19.89	0.68
Mg	13.95	2.17
Mn	2.10	0.11
Cr	1.78	0.13
Sx	0.93	0.11
Ni	0.803	0.047
Ca	0.546	0.047
Px	0.380	0.051
Zn	0.064	0.011
Cu	0.041	0.016
Nb	0.0203	0.0072
In	0.0078	0.0022
Sn	0.0064	0.0028

➤ Hasil Analisis Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 4 Elektrolit HCl

RAWpHCl - Notepad  
 File Edit Format View Help

---

SAMPLE ANALYSIS REPORT THERMO FISHER SCIENTIFIC  
 ARL QUANT'X EDXRF ANALYZER UNIQUANT(TM) STANDARDLESS METHOD

---

C:\UQed\USER\Quant'X\Job\JOB.154 2020-02-19  
 RAWpHCl

Quant'X Rh end window 50kV  
 C:\UQed\USER\Quant'X\Appl\AnySampleAir.kap 2008-06-13

Calculated as : Elements Matrix (Shape & ImpFc) : 12|Cr-Fe-Ni  
 X-ray path = Air Film type = No supporting film  
 Case number = 0 All known  
 Eff.Diam. = 13.0 mm Eff.Area = 132.7 mm2  
 KnownConc = 0 %  
 Rest = 0 % Viewed Mass = 1000.00 mg  
 Dil/Sample = 0 Sample Height = 5.00 mm

El	m/m%	StdErr
--	-----	-----
Fe	66.56	0.35
Si	22.78	0.40
Mn	3.01	0.12
Cr	2.48	0.14
Cl	1.52	0.10
Ca	1.48	0.06
Ti	0.763	0.062
Ni	0.629	0.037
Px	0.573	0.064
Zn	0.128	0.015
Nb	0.0445	0.0085
Mo	0.0229	0.0080
In	0.0118	0.0030

KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0

➤ Hasil Analisis Unsur pada sampel Terak dari Lokasi 2 Elektrolit NaOH

RAWpNaOH - Notepad

File Edit Format View Help

SAMPLE ANALYSIS REPORT  
 ARL QUANT'X EDXRF ANALYZER

THERMO FISHER SCIENTIFIC  
 UNIQUANT(TM) STANDARDLESS METHOD

C:\UQed\USER\Quant'X\Job\JOB.155 2020-02-19  
 RAWpNaOH

Quant'X Rh end window 50kV

C:\UQed\USER\Quant'X\Appl\AnySampleAir.kap 2008-06-13

Calculated as : Elements Matrix (Shape & ImpFc) : 12|Cr-Fe-Ni

X-ray path = Air Film type = No supporting film

Case number = 0 All known

Eff.Diam. = 13.0 mm Eff.Area = 132.7 mm2

KnownConc = 0 %

Rest = 0 %

Viewed Mass = 1000.00 mg

Dil/Sample = 0

Sample Height = 5.00 mm

El	m/m%	StdErr
--	-----	-----
Fe	88.04	0.31
Si	5.87	0.33
Sx	2.90	0.09
Mn	1.26	0.06
Cu	1.15	0.05
Ni	0.717	0.037
Nb	0.0173	0.0068
Ga	0.0156	0.0045
Mo	0.0137	0.0062
Sn	0.0077	0.0021
In	0.0071	0.0017

KnownConc= 0

REST= 0

D/S= 0

Sum Conc's before normalisation to 100% : 73.0 %