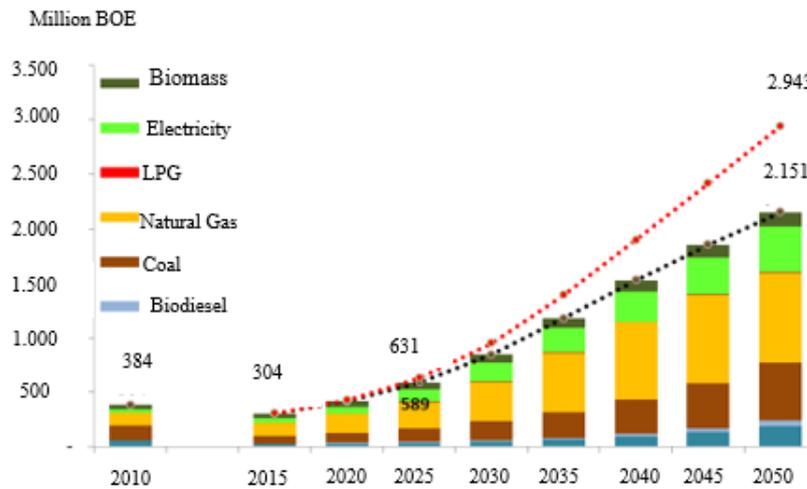


# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

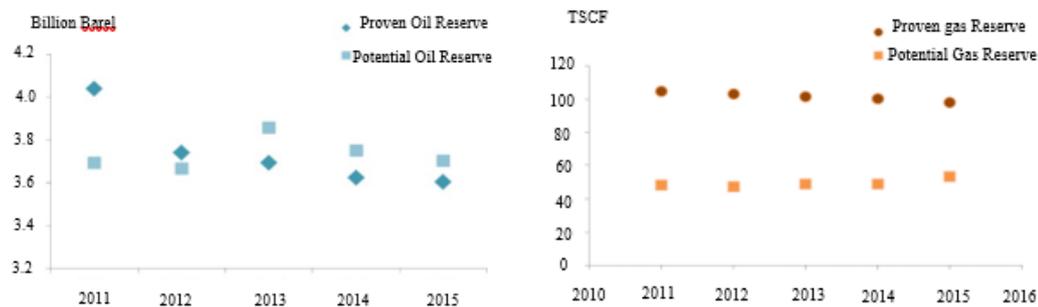
Dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi, diperkirakan penggunaan energi final akan terus meningkat di sektor rumah tangga, sektor komersial, dan sektor lain seperti pertanian, konstruksi, dan pertambangan. Peranan sektor komersial diperkirakan akan meningkat dari 3,6% pada tahun 2015 menjadi 6,3% (skenario dasar) dan 6,4% (skenario tinggi) pada tahun 2050 (Fitriana *et al.*, 2017).



Gambar 1. Kebutuhan Energi Final di Sektor Industri  
(Sumber : Outlook Energi Indonesia 2017)

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang digunakan di sektor industri, pertanian maupun rumah tangga pada saat ini. Sedangkan bahan bakar fosil yang digunakan secara terus menerus dapat menimbulkan ancaman serius yaitu akan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, ketidakstabilan harga, dan menimbulkan polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil. Peningkatan berbagai gas rumah kaca tersebut diperkirakan menjadi penyebab utama dari perubahan iklim dunia ini. Perubahan iklim tersebut diamati dengan fakta adanya peningkatan suhu bumi. Peningkatan suhu tersebut menimbulkan

peningkatan permukaan air laut. Keadaan tersebut juga disertai dengan banyaknya



kejadian banjir dan kekeringan di wilayah bumi ini (Sleutels *et al.*, 2010)

Gambar 2. Sumber Daya Minyak dan Gas Bumi  
(Sumber : Outlook Energi Indonesia 2017)

Seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas, cadangan minyak bumi di Indonesia terus mengalami penurunan, turun dari 5,9 miliar barel pada tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada akhir 2015. Dengan tidak ada penemuan cadangan minyak bumi baru dan semakin meningkatnya produksi saat ini, cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dalam waktu sebelas tahun lagi. Dengan kondisi saat ini, diperkirakan gas bumi akan habis dalam waktu 36 tahun lagi (Fitriana *et al.*, 2017).

Perkembangan di industri sebenarnya akan dapat meningkatkan kemakmuran dan menambah lapangan pekerjaan. Pada saat yang sama industri juga tidak dapat dipisahkan dari hasil sampingnya atau limbah yang dapat mencemari lingkungan yang merupakan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). salah satunya limbah cair asam laboratorium. Limbah tersebut merupakan Limbah B3 yang dapat merusak lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia maka perlu dilakukannya pengolahan sebelum limbah dibuang ke lingkungan. Jenis-jenis limbah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dengan limbah industri, dan walaupun jumlah masing-masing jenis limbah tidak banyak, namun cenderung sangat beragam. Artinya, limbah laboratorium kimia masih relatif sedikit dibandingkan dengan limbah industri, namun sebenarnya mengandung berbagai jenis B3 dengan konsentrasi yang relatif tinggi. Oleh karena itu, limbah ini harus dibuang dengan benar agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan atau gangguan kesehatan masyarakat.

Masalah diatas perlu dilakukan solusi dengan inovasi tepat guna dengan mencari potensi energi terbarukan untuk masa depan. *Fuel cell* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi dengan memanfaatkan limbah yang ada. Sistem ini bersifat ramah lingkungan, karena tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, bahkan dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan karena memanfaatkan limbah tersebut.

Teknologi baru yang sudah banyak dikembangkan untuk memproduksi energi listrik alternatif salah satunya adalah sel elektrokimia. Elektrokimia merupakan suatu ilmu yang mempelajari pergerakan elektron yang terjadi pada sebuah media pengantar listrik. Sel elektrokimia dapat dimanfaatkan untuk penghasil listrik dari suatu reaksi kimia ataupun suatu reaksi kimia yang dapat terjadi akibat listrik.

Salah satu hal yang sangat dibutuhkan dalam proses sel elektrokimia adalah elektrolit. Elektrolit merupakan suatu zat terlarut atau terurai kedalam bentuk ion-ion yang selanjutnya akan menjadi konduktor elektrik. Elektrolit biasanya berupa asam, basa, ataupun garam. Karena biasanya dilarutkan tersebut yang memiliki ikatan ion. Larutan elektrolit tersebut dikategorikan menjadi tiga, yaitu elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan larutan non elektrolit. Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang mengandung ion-ion terlarut dan sangat baik dalam menyuplai arus, sehingga proses perpindahan elektron terjadi dengan cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Sebaliknya larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion terlarut yang cenderung terionisasi sebagian, sehingga pergerakan elektron pada proses relatif lambat dan energi yang dihasilkan rendah namun demikian proses elektrokimia tetap terjadi. Sedangkan untuk larutan non-elektrolit proses pertukaran elektron tidak terjadi (Mukminin *et al.*, 2017).

Limbah cair laboratorium adalah adalah salah satu limbah dari kegiatan laboratorium yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Jenis-jenis limbah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dengan limbah industri, dan walaupun jumlah masing-masing jenis limbah tidak banyak, namun cenderung sangat beragam. Artinya, limbah laboratorium kimia masih relatif sedikit dibandingkan dengan limbah industri, namun sebenarnya mengandung berbagai jenis B3 dengan konsentrasi yang relatif tinggi. Oleh karena itu, limbah ini harus

dibuang dengan benar agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan atau gangguan kesehatan masyarakat.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini ialah :

1. Mengetahui pasangan elektroda *stainless steel* yang efektif.
2. Menentukan variasi konsentrasi garam untuk elektrolit sebagai penghantar listrik terbaik pada sel volta dengan FABA dan sel volta *voltaic pile*.
3. Mengetahui pengaruh limbah cair asam laboratorium pada kinerja sel volta dengan FABA dan *voltaic pile*.

## 1.3 Kerangka Pemikiran

Limbah merupakan buangan dari setiap kegiatan yang dilakukan manusia dan yang bisa berdampak kepada lingkungan. Dari setiap pengolahan industri pasti memiliki limbah/ sisa bahan produksi yang sudah tidak dipakai kembali yang dapat berdampak buruk ke lingkungan. Maka perlu dilakukan pengolahan limbah yang masih bisa dipakai kembali sehingga menjadi nilai ekonomis dan dapat bermanfaat untuk lingkungan. Limbah asam laboratorium merupakan salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan kembali menjadi sumber energi alternatif dengan metode sel volta dan menggunakan elektroda *stainless steel* dengan berbagai jenis logam.

Berbeda dengan beberapa penelitian yang pernah dilakukan , seperti Unila, 2016 menggunakan Larutan elektrolit  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  sebagai larutan yang akan digunakan dan Tembaga (Cu), Al (Aluminium), Besi (Fe) dan Seng (Zn) digunakan sebagai elektroda. Pada penelitian ini hanya ingin memanfaatkan logam bekas dan limbah asam laboratorium sebagai topik utama. Lalu menurut mahtuf ikhsan, 2016. air asam tambang memiliki tingkat keasaman yang tinggi sehingga dapat menghantarkan kelistrikan, pada penelitian ini penulis menggunakan elektroda seng dan pelat tembaga. Hasil yang didapatkan yaitu 500 ml air asam tambang mampu menyalakan lampu LED diode 1.5 watt dan mampu bertahan selama 30 hari dengan tegangan 3 volt.

Berbeda dengan penelitian yang akan saya buat yaitu memanfaatkan limbah cair asam laboratorium sebagai elektrolitnya dan pelat logam *stainless steel* dan Zn sebagai elektrodanya. Kemudian dengan variasi larutan elektrolit dan garam untuk mengetahui nilai tegangan dan kuat arus yang akan dihasilkan sehingga menjadi sumber arus DC (*Dirrect-Current*) atau baterai searah.

#### **1.4 Hipotesis**

Berdasarkan kerangka pemikiran diatas dapat ditarik hipotesis sebagai berikut :

1. Didapatkan pasangan elektroda yang efektif terhadap *stainless steel*.
2. Dengan penambahan garam dapat meningkatkan kuat arus dan tegangan yang dihasilkan.
3. Pengaruh limbah cair pada kinerja sel volta dan *voltaic pile* sehingga mendapatkan arus listrik yang dapat berkeja maksimal.

#### **1.5 Kontribusi**

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat dalam berbagai bidang, antara lain :

1. Bagi lingkungan diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan menjadi inovasi terbaru sebagai sumber energi alternatif terbarukan.
2. Bagi Pendidikan diharapkan dapat menjadi sumber referensi sumber informasi, dan sumber bacaan ilmu pengetahuan dalam hal sumber energi alternatif terbarukan.
3. Bagi masyarakat diharapkan dapat menjadi wawasan dan solusi inovasi energi listrik terbarukan dalam kehidupan sehari- hari.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baterai

Baterai adalah suatu sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik atau biasa disebut dengan sel volta. Baterai mengalirkan ion-ion negatif dan positif sehingga bereaksi dengan suatu elektrolit kemudian dapat menghasilkan listrik. Baterai merupakan media penyimpanan energi listrik yang digunakan sebagai pembangkit power dalam bentuk arus searah *direct current* (DC).

Baterai mempunyai sejarah yang Panjang, bangsa Persia yang menguasai Baghdad (250 SM) dipercaya telah menggunakan alat dengan konsep yang sama dengan baterai untuk menyepuh logam. Bangsa Mesir (2300 SM) menggunakannya untuk menyepuh antimoni pada tembaga. Namun, baterai yang kita kenal sekarang mempunyai akar dengan baterai yang dibuat pada awal abad ke-19. Alessandro volta menciptakan 'baterai pertama' yang dikenal dengan tumpukan volta (*voltaic pile*). Baterai ini telah menghasilkan arus yang kontinu dan stabil (Azizah, 2016).

### 2.2 Elektrokimia

Elektrokimia ialah sebuah ilmu pengetahuan kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron pada sebuah media pengantar listrik (elektroda). Elektroda tersebut akan dialiri oleh arus listrik yang akan menjadi sumber energi dalam proses pergantian elektron. Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks merupakan reaksi gabungan antara reduksi dan oksidasi yang akan menangkap dan melepas elektron secara bersamaan (Harahap, 2016).

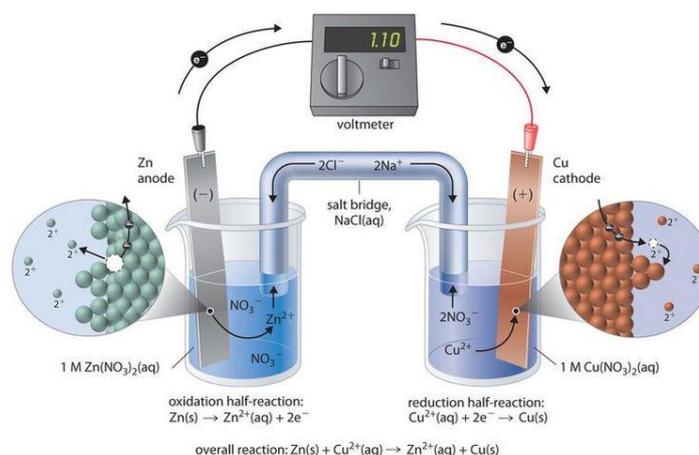
Elektrokimia juga mempelajari semua reaksi kimia yang disebabkan oleh energi listrik serta semua reaksi kimia yang menghasilkan listrik. Namun demikian, sel elektrokimia sering didefinisikan sebagai sel yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia seperti sel galvanik atau sel volta dan energi listrik menyebabkan reaksi kimia dalam sel namanya sel elektrolisis.

### 2.2.1 Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk dapat berlangsung reaksi kimia. Pada sel elektrolisis, reaksi kimia tidak secara spontan tetapi melalui perbedaan potensial yang dipicu dari luar system. Anoda berfungsi sebagai elektroda bermuatan positif dan katoda bermuatan negatif, sehingga arus listrik mengalir dari anoda ke katoda. Sel ini terdiri dari sumber arus searah yang dihubungkan dengan kawat penghantar pada dua buah elektroda (katoda dan anoda), kedua ujung elektroda dicelupkan dalam bejana berisi cairan elektrolit (Harahap, 2016).

### 2.2.2 Sel Volta

Luigi Galvani (1780) dan Alessandro Volta (1800) telah menemukan terbentuknya arus listrik dari reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi merupakan reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) dan alat ini disebut sel volta (Rohman *et al.*, 2019).



Gambar 3. Konsep Sel Volta  
(Sumber : nixonselly.blogspot.com)

Sel Galvani atau sel volta terdiri dari dua buah elektroda dan elektrolit. Elektroda ada yang terlibat langsung dalam reaksi sel, namun ada pula yang tidak berperan dalam reaksi sel yang disebut dengan elektroda inert. Reaksi kimia berlangsung di permukaan elektroda. Anoda adalah elektroda di mana terjadi reaksi oksidasi, sedangkan elektroda di mana terjadi reaksi reduksi adalah Katoda. Setiap elektroda dan elektrolit dapat bereaksi membentuk setengah sel. Reaksi elektroda

adalah setengah reaksi yang terjadi pada setengah sel. Yang termasuk setengah reaksi adalah reaksi yang memperlihatkan kehilangan elektron atau reaksi yang memperlihatkan perolehan elektron (Harahap, 2016).

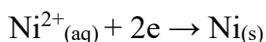
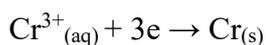
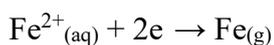
Seperti sel volta Zn dan *stainless steel* karena Zn lebih mudah teroksidasi dibandingkan *stainless steel*, maka Zn akan melepaskan elektronnya sehingga membentuk  $Zn^{2+}$ . Pada saat bersamaan ion *stainless steel* menangkap electron dan kemudian mengalami reduksi. Potensi elektroda *stainless steel* menjadi lebih positif Ketika tekanan listrik turun Ketika elektron dikeluarkan dari katoda. Jika kabel digabungkan dengan kedua elektroda, maka arus akan mengalir dari elektroda Zn ke elektroda *stainless steel*.

Jembatan garam berfungsi Ketika separuh reaksi berlanjut, ion Zn dilepaskan kedalam larutan di anoda dan ion pada *stainless steel* berpindah ke katoda. Elektroda akan bergerak bebas diantara kedua elektroda untuk menetralkan muatan positif yang dihasilkan di anoda dan muatan negatif yang tertinggal di katoda. Ion dalam larutan garam dapat menetralkan muatan positif dan muatan negatif dalam larutan (mahtuf ikhsan, 2016).

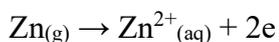
### 2.2.3 Konsep Reaksi Reduksi dan Oksidasi (Redoks)

Larutan yang dapat menghantarkan listrik disebut larutan elektrolit. Larutan ini akan membuat lampu menyala atau menimbulkan gelembung gas dalam larutan. Gelembung gas ini terbentuk karena ion positif mengalami reaksi reduksi dan ion negatif mengalami oksidasi. Dalam hal ini yang merupakan reaksi oksidasi atau melepas elektron adalah Zn dan yang mengalami reduksi atau menangkap elektron adalah *stainless steel*. Contoh :

Reaksi Reduksi *stainless steel* (Fe, Cr, Zn) :



Reaksi Oksidasi Zn/ seng :



Dalam proses ini zat yang mengalami oksidasi dinamakan oksidator dan zat yang mengalami reduksi dinamakan reduktor. Elektroda yang mengalami reduksi cenderung menangkap elektron dan elektroda yang mengalami oksidasi cenderung melepas elektron.

### 2.3 Elektroda

Arus listrik adalah elektron yang mengalir dan sumber elektron biasanya dari logam. Pada tabel sistem periodik unsur telah dijelaskan bahwa logam yang sangat reaktif dalam melepaskan elektron adalah logam-logam pada golongan 1A (logam alkali) dan golongan 2A (logam alkali tanah). Supaya dapat menghasilkan elektron maka dibutuhkan penghasil elektron dan penerima elektron. Sifat yang berkaitan erat dengan kerapatan muatan listrik disebut potensial elektroda. Oleh karena itu, arus listrik atau elektron mengalir dari potensial elektroda yang lebih tinggi ke elektroda yang lebih rendah (*E book itenas, 2010*).

Elektroda adalah alat yang digunakan dalam proses elektrokimia yang dapat menghantarkan arus listrik kedalam larutan elektrolit. Elektroda bekerja berdasarkan prinsip elektrik dan kimia. Ketika arus listrik mengalir melalui elektroda maka akan terjadi reaksi kimia antara elektroda dan zat disekitarnya. Energi listrik pada reaksi elektrokimia dapat terjadi melalui dua buah elektroda yang mempunyai beda potensial dan dihubungkan dengan bahan elektrolit

Untuk menggerakkan muatan dari satu titik ke titik lain diperlukan beda potensial listrik antara kedua muatan. Beda potensial diukur antara dua elektroda yaitu elektroda pengukur dan elektroda pembanding. Banyaknya arus listrik yang dihasilkan dari kedua elektroda dapat ditentukan dengan menetapkan potensial elektroda. Hanya saja potensial elektroda suatu zat tidak mungkin berdiri sendiri, harus ada patokan yang menjadi standar.

Besarnya arus listrik yang dihasilkan terjadi berdasarkan besarnya beda potensial antara kedua elektroda (katoda dan anoda). Setiap potensial sel kuatnya akan berbeda-beda berdasarkan jenis elektrodanya, suhu larutan elektrolit, dan konsentrasi larutan (*Nasution, 2019*).

Tabel 1. Energi Potensial Elektroda Standar

Setengah Reaksi Elektroda Standar			E° Volta
$F_{2(g)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow 2F^-_{(aq)}$	+2,87
$O_{3(g)}$	$+ 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow O_{2(g)} + H_2O$	+2,07
$S_2O_8^{2-}(g)$	$+ 2e^-$	$\rightarrow 2 SO_4^{2-}(g)$	+2,01
$H_2O_{2(g)}$	$+ 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow 2H_2O$	+1,77
$MnO_4^-(aq)$	$+ 8H^+_{(aq)} + 5e^-$	$\rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O$	+ 1,51
$PbO_{2(p)}$	$+ 4H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + 2H_2O$	+ 1,455
$Cl_{2(g)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow 2Cl^-_{(aq)}$	+ 1,360
$Cr_2O_7^{2-}(aq)$	$+ 14H^+_{(aq)} + 6e^-$	$\rightarrow 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O$	+ 1,33
$O_{2(g)}$	$+ 4H^+_{(aq)} + 4e^-$	$\rightarrow 2H_2O$	+ 1,229
$MnO_{2(p)}$	$+ 4H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2H_2O$	+ 1,224
$2IO_3^-(aq)$	$+ 12H^+_{(aq)} + 10e^-$	$\rightarrow I_{2(p)} + 6H_2O$	+ 1,195
$Br_{2(c)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow 2Br^-_{(aq)}$	+ 1,065
$NO_3^-(aq)$	$+ 4H^+_{(aq)} + 3e^-$	$\rightarrow NO_{(g)} + 2H_2O$	+ 0,96
$Ag^+_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow Ag_{(p)}$	+ 0,800
$Fe^{3+}_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$	+ 0,771
$O_{2(g)}$	$+ 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow H_2O_{2(aq)}$	+ 0,682
$I_{2(p)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow 2I^-_{(aq)}$	+ 0,535
$Cu^+_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow Cu_{(p)}$	+ 0,52
$H_2SO_3(aq)$	$+ 4H^+_{(aq)}$	$\rightarrow S_{(p)} + 3H_2O$	+ 0,45
$Cu^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Cu_{(p)}$	+ 0,337
$SO_4^{2-}(aq)$	$+ 4H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow 2H_2O + SO_{2(g)}$	+ 0,17
$Sn^{4+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Sn^{2+}_{(aq)}$	+ 0,154
$S_{(p)}$	$+ 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightarrow H_2S_{(g)}$	+ 0,141
$2H^+_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow H_{2(g)}$	0,00000
$Pb^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Pb_{(p)}$	- 0,126
$Sn^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Sn_{(p)}$	- 0,136
$Cr^{3+}_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow Cr^{2+}_{(aq)}$	- 0,407
$Fe^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Fe_{(p)}$	- 0,440
$Zn^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Zn_{(p)}$	- 0,763
$Al^{3+}_{(aq)}$	$+ 3e^-$	$\rightarrow Al_{(p)}$	- 1,66
$Mg^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Mg_{(p)}$	- 2,375
$Na^+_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow Na_{(p)}$	- 2,714
$Ca^{2+}_{(aq)}$	$+ 2e^-$	$\rightarrow Ca_{(p)}$	- 2,76
$K^+_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow K_{(p)}$	- 2,925
$Li^+_{(aq)}$	$+ e^-$	$\rightarrow Li_{(p)}$	- 3,045

Sumber : (E book itenas, 2010)

Nilai energi potensial elektroda standar atau biasa disebut juga deret volta yaitu susunan unsur-unsur berdasarkan kecenderungannya untuk mengalami oksidasi atau reduksi. Nilai  $E^\circ$  negatif biasanya cenderung lebih mudah melepaskan elektron (teroksidasi). Sedangkan  $E^\circ$  positif biasanya cenderung lebih mudah menangkap elektron (tereduksi). Rumus umum potensial sel elektroda adalah:

$$E^{\circ} \text{ sel} = E^{\circ} \text{ Katoda} - E^{\circ} \text{ Anoda}$$

Pada sistem setengah sel, potensial elektroda adalah perbedaan potensial antara elektroda standar dari katoda dan anoda. Untuk membandingkan nilai untuk semua elektroda bisa menggunakan nilai elektroda standar dari hidrogen, karena nilai energi potensial dari hidrogen adalah 0 volt. Potensial elektroda sistem sel digunakan melalui proses reaksi reduksi dari logamnya. Apabila nilai  $E^{\circ}$  sel negatif artinya elektrokimia tersebut terjadi secara tidak spontan dan apabila  $E^{\circ}$  sel bernilai positif maka sel elektrokimia tersebut terjadi secara spontan atau tidak membutuhkan sumber listrik dari luar (Suyanta, 2014).

## 2.4 Elektrolit

Salah satu hal yang sangat dibutuhkan dalam proses sel elektrokimia adalah elektrolit. Elektrolit merupakan suatu zat terlarut atau terurai kedalam bentuk ion-ion yang selanjutnya akan menjadi konduktor elektrik. Elektrolit biasanya berupa asam, basa, ataupun garam. Karena biasanya dilarutkan tersebut memiliki ikatan ion. Larutan elektrolit tersebut dikategorikan menjadi tiga, yaitu elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan larutan non elektrolit. Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang mengandung ion-ion terlarut dan sangat baik dalam menyuplai arus, sehingga proses perpindahan elektron terjadi dengan cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Sebaliknya larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion terlarut yang cenderung terionisasi sebagian, sehingga pergerakan elektron pada proses relatif lambat dan energi yang dihasilkan rendah namun demikian proses elektrokimia tetap terjadi. Sedangkan untuk larutan non-elektrolit proses pertukaran electron tidak terjadi (Mukminin *et al.*, 2017).

Elektrolit adalah senyawa yang dapat menghantarkan listrik. Sifat konduktivitas listrik dijelaskan oleh Alkenius dengan adanya partikel bermuatan yang disebut ion. Larutan yang mengandung sedikit ion tidak dapat menghantarkan listrik. Larutan yang terlalu pekat memiliki ion-ion yang terkemas rapat, sehingga sulit bagi ion untuk bergerak melalui larutan (Fadlilah, 2019).

Tabel 2. Perbandingan Larutan Elektrolit Kuat, Lemah, dan Non-elektrolit

Jenis Larutan	Sifat	Contoh senyawa	Reaksi ionisasi
Elektrolit kuat	terionisasi sempurna, menghantarkan arus listrik, lampu dapat menyala terang dan terdapat gelembung gas	NaCl, HCl, NaOH, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , dan KCl	NaCl → Na <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup> , NaOH → Na <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> → 2H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Elektrolit lemah	terionisasi sebagian, menghantarkan arus listrik, lampu dapat menyala redup, terdapat gelembung gas	CH <sub>3</sub> COOH, Na <sub>4</sub> OH, HCN, Al(OH) <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> COOH → H <sup>+</sup> + CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> , HCN → H <sup>+</sup> + CN <sup>-</sup> , Al(OH) <sub>3</sub> → Al <sup>+</sup> + 3OH <sup>-</sup>
Non Elektrolit	Tidak terionisasi, tidak menghantarkan listrik, tidak dapat menyalakan lampu, tidak terdapat gelembung gas	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> , CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	

Sumber : (Fadlilah, 2019)

Larutan elektrolit bisa didapatkan dari berbagai macam sumber dan limbah yang mengandung ion-ion. Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik, yang lebih dikenal dengan sampah, yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia senyawa organik dan anorganik. dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadirannya berdampak negatif terhadap lingkungan.

Mengolah limbah asam laboratorium selain agar tidak mencemari lingkungan limbah asam juga dapat dijadikan sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang dapat diolah untuk menjadi sumber listrik. Limbah air asam laboratorium merupakan limbah pencemar lingkungan dan termasuk limbah golongan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Yang terjadi akibat aktifitas-

aktifitas penelitian di laboratorium. Maka dari itu sangat berbahaya jika dibiarkan langsung berada di lingkungan.

## 2.5 Abu Batubara (*Fly Ash – Bottom Ash*)

Abu batubara hasil dari proses pembangkit listrik diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu abu terbang (*fly ash*), abu dasar (*bottom ash*), dan *boiler slag*. Pemanfaatan abu batubara digunakan dalam berbagai keperluan dan sangat bergantung pada sifat-sifat abu tersebut, yang ditentukan oleh kandungan bahan kimia yang terkandung dalam abu batubara tersebut. Membuang abu batubara di kolam penyimpanan terbuka yang tidak ditutupi lapisan mempunyai dampak negatif yang serius terhadap lingkungan. Hal ini disebabkan konsentrasi logam yang tinggi. Abu batubara ialah material berongga halus yang dominan berbentuk padatan kecil. Material ini merupakan senyawa fero alumino silikat dengan unsur utama Si, Al, Fe, Ca, K dan Na (Damayanti, 2018).

Limbah dapat berupa padat, cair, atau gas. Limbah dari produksi industri memiliki dampak negatif, tetapi dengan kemajuan teknologi, limbah dapat dikelola kembali untuk menghasilkan nilai ekonomi bagi masyarakat. Limbah cair yang berasal dari bekas penimbunan batubara dikenal sebagai limbah *stockpile* batubara. Luas penampang elektroda mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan dalam media elektrolit. Menyatakan bahwa besar tegangan listrik yang dihasilkan kombinasi jenis elektroda tumbuh secara linier seiring dengan luas penampang elektroda yang dipakai (Leni Sundari *et al.*, 2023).

Limbah *fly ash* biasanya dibagi menjadi dua kelas ; 1 biasanya mengandung CaO yang sangat rendah, sedangkan 2 biasanya menandung kalsium. *Fly ash* memiliki komposisi kimia bergantung pada jenis batubara dan suhu pembakarannya. Jika limbah FABA tidak digunakan secara maksimal maka akan terjadi masalah pencemaran dan penumpukan pada lingkungan (Pradana *et al.*, 2024).

## 2.6 Metode *Voltaic Pile*

*Voltaic pile* merupakan penemuan alat yang dapat menjadikan sumber listrik aliran konstan yang ditemukan oleh Alessandro Volta pada tahun 1799,



## 2.8 Analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*)

*X-Ray Fluorescence* adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari semua jenis bahan. Biasanya bahan berupa padat, cair, bubuk, atau lainnya. XRF juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan. Metode ini cepat, akurat dan tidak merusak, dan biasanya hanya membutuhkan persiapan sampel minimum. Aplikasi sangat luas dan mencakup industri logam, semen, minyak, polimer, plastik dan makanan, bersama dengan pertambangan, mineralogi dan geologi, dan analisis lingkungan air dan bahan limbah. XRF juga merupakan teknik analisis yang sangat berguna untuk penelitian dan farmasi.

Dalam XRF, sinar-X yang dihasilkan oleh sumber menyinari sampel. Dalam kebanyakan kasus, sumbernya adalah tabung sinar-X tetapi alternatifnya bisa berupa sinkrotron atau radioaktif bahan. Unsur-unsur yang ada dalam sampel akan memancarkan radiasi sinar-X dengan energi diskrit (setara dengan warna dalam cahaya optik) yang merupakan karakteristik untuk elemen-elemen ini. Energi yang berbeda setara dengan warna yang berbeda. Dengan mengukur energi (menentukan warna) radiasi yang dipancarkan oleh sampel itu (Brouwer, 2010).

Spektrum XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk menilai kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dapat dianalisis termasuk pelet, serbuk, atau padat massif. Analisis unsur dapat dilakukan secara kualitatif atau kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan (Abinawa *et al.*, 2024).

## 2.9 Karakteristik Kelistrikan

Kelistrikan ialah keberadaan dan aliran muatan listrik dan listrik sendiri merupakan aliran elektron yang ada didalamnya. Arus listrik adalah aliran partikel bermuatan listrik yang berdampak pada muatan listrik lainnya, dan lingkungan sekitarnya merupakan medan listrik. Kapasitas untuk melakukan pekerjaan pada medan listrik adalah potensial listrik, yang diwakili dalam satuan *voltase* (V) dan satuannya ialah volt. Aliran medan listrik tidak hanya menghasilkan tegangan (V)

tetapi juga terdapat arus listrik dan hambatan didalamnya. Arus listrik (I) merupakan aliran muatan listrik yang melalui luas penampang dalam satuan *standard internasional* (SI) adalah Ampere (A) kemudian Hambatan atau tahanan listrik ialah sifat bahan yang menahan aliran listrik. Simbol tahanan listrik adalah R dan satuannya dalam SI adalah ohm ( $\Omega$ ) (Caron & Markusen, 2016).

Setiap penghantar memiliki hambatan. Penghantar tertentu, seperti logam, harus dipilih dengan nilai hambatan paling rendah. Komponen yang mengandung nilai hambatan (resistansi) disebut resistor. George Simon Ohm (1789-1854) merumuskan hukum ohm yang menggambarkan hubungan antara kuat arus listrik (I), hambatan (R), dan perbedaan potensial (V). Arus didefinisikan sebagai banyaknya elektron yang bergerak melalui sebuah konduktor setiap saat atau dalam satu detik. Besarnya arus listrik berbanding lurus dengan Tegangan sedangkan berbanding terbalik dengan resistensi/ hambatan seperti dapat dilihat dari rumus berikut (1) (Ratna Mustika Yasi & Charis Fathul Hadi, 2021).

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan I = Kuat Arus (ampere/ milliampere)

V= Tegangan (volt)

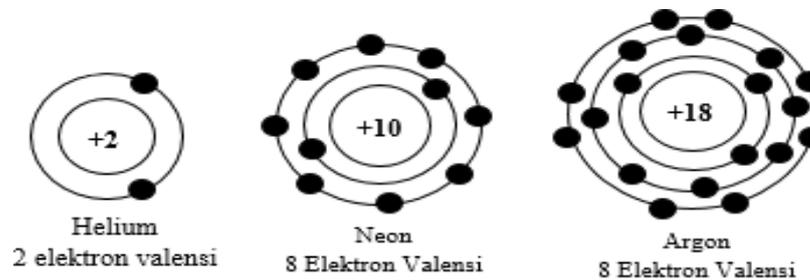
R= Hambatan (ohm)

Selain itu, konduktivitas listrik juga merupakan hal penting dalam kelistrikan karena konduktivitas listrik adalah ukuran seberapa baik suatu larutan dapat menghantarkan arus listrik. Konduktivitas larutan sangat bergantung pada jenis ion yang ada dan konsentrasi ionnya, ion yang mudah bergerak memiliki daya hantar listrik yang lebih besar, sedangkan suhu air dan konsentrasi ion mempengaruhi seberapa baik larutan dapat menghantarkan listrik. Jumlah padatan terlarut dalam larutan mempengaruhi banyaknya ion juga. kemungkinan jumlah ion dalam larutan akan terlarut juga semakin besar, semakin besar konduktivitas listrik (Shaza, 2017).

## 2.10 Elektron pada Atom

Teori elektron menjelaskan tentang atom dan sub-atomiknya, elektron yang terlibat dalam fenomena elektronik dan kelistrikan. Inti atom membentuk atom, yang dikelilingi oleh elektron yang bermuatan negatif. Elektron yang membentuk

inti atom bermuatan positif ialah proton dan netral ialah neutron. Total muatan dari inti atom adalah netral karena masing-masing elektron mengorbit memiliki muatan total negatif sebanding dengan muatan total positif dari proton dalam inti atom. Hal tersebut dikenal dengan istilah "elektron valensi" yang mengacu pada elektron-elektron yang berada dalam orbit terluar dari suatu atom. Suatu atom dengan delapan elektron terluar maka bersifat stabil dan tidak mudah bergabung dengan atom lain secara kimiawi untuk membentuk suatu molekul (Caron & Markusen, 2016).



Gambar 5. Elektron Suatu Atom/ Unsur

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 3. Penelitian terdahulu

Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil
Devi Yulianti, (2016)	Analisis kelistrikan sel volta memanfaatkan logam bekas.	Pengukuran pada masing-masing sel dengan variasi volume pada setiap pasangan elektroda tidak mempengaruhi nilai tegangan dan Semakin banyak LED yang dihidupkan semakin kecil nilai arus karena hambatan semakin besar, sehingga nilai intensitas semakin kecil.
Taufiqur Rohman, Bambang Dwi Sulo, Oktriza Melfazen, (2019).	Sistem konversi energi berbasis air laut guna mendapatkan energi	Pelat Aluminium dan Tembaga sebagai Elektroda terhadap elektrolit air laut dapat menghasilkan energi

Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil
	listrik dengan metode sel volta.	listrik. Kemudian besar energi listrik meningkat secara linier berdasarkan kenaikan luas penampang (A) kedua pelat.
Aurora Sari Dharma Yanti dan Mahtuf Ikhsan (2016).	<i>Acid mine drainage water for alternative electrical energy source</i>	Berdasarkan hasil penelitian, air asam tambang memiliki tingkat keasaman yang tinggi sehingga mampu menghantarkan listrik dengan baik. Air asam tambang juga dapat digunakan sebagai larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> untuk akumulator.