

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Limbah dihasilkan ketika bahan kimia digunakan dalam praktik atau selama penelitian laboratorium. Limbah laboratorium dapat berasal dari bahan baku kadaluwarsa, bahan habis pakai, produk olahan, operasi pembuangan limbah, sisa bahan kimia yang digunakan, air yang digunakan untuk membersihkan peralatan, dan sisa sampel untuk pengujian (Nurhayati, 2018). Limbah laboratorium adalah limbah yang dihasilkan ketika berbagai larutan kimia bereaksi selama suatu percobaan. Limbah laboratorium mengandung berbagai jenis senyawa organik dan organik. Hal ini berdampak pada lingkungan apabila limbah langsung dibuang tanpa adanya pengolahan limbah terlebih dahulu. Sebagaimana tertuang dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pembuangan Lingkungan Hidup, Undang-undang menyatakan bahwa limbah adalah sisa suatu benda. Berbahaya atau tidak berbahaya bagi kehidupan manusia, hewan atau lingkungan dan umumnya diakibatkan oleh aktivitas manusia termasuk industrialisasi. Limbah yang dihasilkan di laboratorium termasuk limbah asam dari laboratorium.

Limbah laboratorium cair asam merupakan limbah yang dihasilkan ketika berbagai larutan kimia di laboratorium bereaksi. Limbah laboratorium cair yang bersifat asam ini dapat mengalami beberapa kali pengolahan. Yakni pengolahan biofilter yang menggabungkan proses kimia dan biologi yang dilakukan dalam dua perlakuan yaitu proses netralisasi dengan soda (Na_2CO_3) dan koagulasi dengan tawas. Adsorpsi dengan adsorben zeolit dan karbon aktif serta proses fitoremediasi menggunakan eceng gondok. Pada perlakuan kedua dilakukan proses fitoremediasi dilakukan terlebih dahulu sebelum proses adsorpsi (Yohana Nina, 2018). Dalam pengolahan limbah, metode proses oksidasi lanjutan (AOP) dengan pretreatment koagulasi dan adsorpsi digunakan untuk mengolah air limbah laboratorium. Penelitian ini fokus pada penurunan konsentrasi logam berat Pb, Fe, dan Cu menggunakan karbon aktif sebagai adsorben dan COD menggunakan pereaksi Fenton (Maria, 2024).

Limah cair asam labroratium juga dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan baterai yaitu pengolahan limbah cair dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi merupakan proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Proses ini berdasarkan pada prinsip ilmu dimana adanya respon air yang mengandung kontaminan terhadap medan listrik melalui reaksi reduksi dan oksidasi serta dapat menghilangkan beberapa kation berat dan dapat mengurangi mikroorganisme dalam air dengan menggunakan bahan campuran (Fadhila, 2018). Pemanfaatan baterai lainnya dengan memanfaatkan limbah *fly ash bottom ash* (FABA) dan *voltaic pile* dengan melibatkan reaksi elektrokimia.

Reaksi elektrokimia adalah reaksi yang melibatkan pelepasan dan penerimaan elektron atau disebut juga reaksi redoks, sel elektrokimia yaitu alat yang terdiri dari sepasang elektroda yang dicelupkan kedalam suatu larutan dan dihubungkan ke konduktor logam pada rangkaian luar (Anggraini, 2019). Pada proses reaksi elektrokimia dibutuhkan bantuan elektroda yaitu salah satunya adalah Zn dikarenakan oleh kemampuan daya hantar listrik yang jauh di atas alumunium sehingga tegangan keluarnya menjadi lebih tinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut maka di dalam penelitian ini dilakukan pengembangan metode pengolahan limbah cair asam laboratorium menggunakan metode sel volta FABA dan *voltaic pile* dengan menggunakan variasi jenis elektrolit garam dan konsentrasi dengan bantuan anoda Zn. Jenis garam yang digunakan pada penelitian ini adalah NaCl, KCl dan CaCl₂ dengan konsentrasi 0,1;0,5; 1; 1,5 dan 2%.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan khusus yang ingin dicapai antara lain:

1. Mengerahui pasangan elektroda yang efektif terhadap elektroda Zn.
2. Menentukan variasi garam NaCl, KCl dan CaCl₂ untuk elektrolit sebagai penghantar listrik terbaik pada sel volta, FABA dan *voltaic pile*.
3. Mengetahui pengaruh limbah cair pada kinerja sel volta, FABA dan *voltaic pile*.

1.3 Kerangka Pemikiran

Limbah dihasilkan ketika bahan kimia digunakan dalam praktik atau selama penelitian laboratorium. Limbah laboratorium dapat berasal dari bahan baku kadaluwarsa, bahan habis pakai, hasil proses laboratorium, hasil pengolahan limbah, sisa bahan kimia bekas, air bekas peralatan bersih, dan sisa sampel pengujian (Nurhayati, 2018).

Limbah laboratorium adalah limbah yang dihasilkan ketika berbagai larutan kimia bereaksi selama suatu percobaan. Limbah laboratorium mengandung berbagai jenis senyawa organik dan logam. Pembuangan langsung tanpa adanya pembuangan terlebih dahulu berdampak terhadap lingkungan.

Sel volta atau sel galvanik adalah sumber tegangan yang terdiri dari dua buah elektroda yang memiliki deret potensial dalam suatu larutan elektrolit. Pasangan elektroda yang memiliki beda deret potensial dalam suatu larutan elektrolit. Pada penelitian terdahulu pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasangan elektroda C-Zn, dan Cu-Al (Pauzi Gurum Ahmad, 2020). Maka dari itu, penelitian ini menggunakan elektroda Zn sebagai Anoda.

Oleh karena itu pada penelitian ini bermaksud untuk memanfaatkan limbah laboratorium dan FABA yang berada di Provinsi Lampung sebagai daya pengantar listrik dengan metode sel volta sehingga angka pembuangan limbah laboratorium dan FABA dapat menurun.

1.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang diperoleh dari berbagai sumber penelitian, maka dapat dirumuskan suatu hipotesis yaitu sebagai berikut:

1. Jenis pasangan elektroda yang efektif terhadap elektroda Zn adalah elektroda Al.
2. Jenis garam KCl yang berfungsi sebagai penghantar listrik berpengaruh terhadap energi listrik sel volta dan *voltaic pile*.
3. Pengaruh limbah cair pada kinerja sel volta dan *voltaic pile* adalah hasil voltase yang didapatkan semakin besar.

1.5 Kontribusi

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang dan dapat menjadi solusi pada penyelesaian permasalahan lingkungan akibat minimnya pemanfaatan limbah *fly ash-bottom ash* (FABA) dan seng di Indonesia.

Manfaat lain dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan tambahan ilmu pengetahuan dan pengalaman kepada penulis di bidang ketengalistrikan dan limbah.
2. Bagi lingkungan diharapkan dapat menjadi solusi dalam permasalahan pencemaran, inovasi pengolahan limbah dan penerapan prinsip *zero waste* di industri.
3. Bagi masyarakat diharapkan dapat menjadi informasi untuk inovasi di lingkungan terutama industri dalam pemanfaatan limbah asam laboratorium dan *fly ash-bottom ash* (FABA).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair

Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 menyebutkan limbah cair adalah hasil operasi atau kegiatan yang berbentuk cair. Segala macam limbah yang berbentuk cair, berupa air beserta buangan yang tercampur (tersuspensi) maupun terlarut dalam air (Kristanto, 2012).

Laboratorium kimia merupakan salah satu sumber pencemaran yang sangat potensial. Proses laboratorium yang menggunakan bahan kimia dapat menghasilkan limbah. Sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah laboratorium harus dikelola sendiri atau diserahkan ke pihak ketiga untuk pengelolaan. Jenis bahan kimia yang paling umum digunakan di laboratorium kimia termasuk bahan organik dan anorganik yang bersifat asam atau basa. Limbah cair laboratorium merupakan limbah sisa-sisa bahan kimia yang telah digunakan, sisa-sisa sampel yang telah diuji ataupun air bekas cucian peralatan.

Limbah laboratorium merupakan limbah yang dihasilkan dari hasil reaksi berbagai larutan kimia yang terjadi selama suatu eksperimen. Limbah laboratorium terdiri dari berbagai jenis senyawa, termasuk yang organik dan anorganik. Salah satu tujuan pengelolaan limbah melalui proses koagulasi adalah untuk mengurangi parameter kebutuhan oksigen kimiawi (COD), sedangkan proses pengolahan menggunakan proses adsorbs bertujuan untuk menurunkan logam Fe dan Pb (Audiana, 2014). Karakteristik limbah cair laboratorium dapat dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

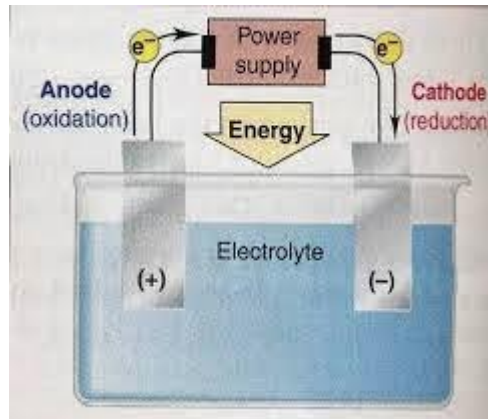
Ichtiakhiri (2015) mengatakan, dampak kesehatan dari limbah B3 juga berdampak pada pernafasan karena menghirup uap dengan konsentrasi tinggi berbahaya. Konsentrasi yang tinggi dapat mengiritasi saluran pernafasan (hidung, tenggorokan, paru-paru). Hal ini menyebabkan mual, muntah, sakit kepala, pusing, kehilangan kesadaran, kehilangan rasa, dan masalah neurologis lainnya. Paparan konsentrasi akut dapat menyebabkan depresi neurologis, pingsan, koma, dan kematian.

2.2 Elektrokimia

Menurut Riyanto (2013) elektrokimia merupakan bagian dari ilmu kimia yang mempelajari hubungan antara reaksi kimia dengan arus listrik. Elektrokimia mempelajari semua reaksi kimia yang disebabkan oleh energi listrik serta semua reaksi kimia yang menghasilkan listrik. Namun sel elektrokimia sering disebut sebagai sel yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia dalam selnya, seperti sel galvani atau sel volta dan sel elektrolisis adalah sel yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia. Reaksi elektrokimia adalah reaksi yang melibatkan pelepasan dan penerimaan elektron atau disebut juga reaksi redoks. Metode elektrokimia banyak digunakan untuk mengolah limbah. Sel elektrokimia yaitu alat yang terdiri dari sepasang elektroda yang dicelupkan kedalam suatu larutan dan dihubungkan ke konduktor logam pada rangkaian luar (Anggraini, 2019).

2.2.1 Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis adalah sel elektrokimia yang menggunakan sumber energi listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi. Pada elektrolisis katoda menjadi bermuatan negatif dan anoda menjadi bermuatan positif (Harahap, 2016). Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion negatif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Adam, 2019). Menurut prinsip kerjanya arus listrik terdiri dari zat yang dapat mengalami proses ionisasi, elektroda dan sumber listrik (baterai). Arus mengalir dari dua kutub negatif dari baterai ke katoda yang bermuatan negatif. Larutan akan mengalami ionisasi menjadi kation dan anion. Kation di katoda akan mengalami reduksi dan oksidasi terjadi di anoda.



Gambar 1. Sel ELEktrolisis

(Sumber Sel Elektrolisis: Karakteristik dan Aplikasi)

Baterai elektrolisis, yaitu baterai yang reaksi kimianya yang memerlukan arus listrik. Contoh penggunaan sel elektrolisis adalah:

- 1) Elektrodeposisi adalah pengendapan logam pada permukaan elektroda. Teknik ini digunakan dalam produksi bahan nanoteknologi, pelapisan listrik, anti korosi, perhiasan dan aksesoris mobil.
- 2) Elektroanalisis adalah aplikasi pelektrolisis untuk analisis, seperti: polalografi, voltmetri, potensiometri, *linier sweep voltmetri* (LSV), *cyclic voltmetri* (CV), *differential pulse voltmetri* (DNPV), *square wape voltmetri* (SWV), anodic stripping voltmetri (ASV), *cathodic stripping voltmetri* (CSV) dan *voltametri strippng adsortif* (AdSV).
- 3) Elektrosintetis adalah sintetis senyawa organik dan anorganik dengan menggunakan elektrolisis. Teknik ini dapat mengatasi beberapa kelemahan sintetis dengan cara biasa. Beberapa senyawa organik dapat disintetis dengan cara elektrosintetis seperti asam asetat, adiponitril, tetra alkil plumbun dan tetrafluoro-p-xlen, sedangkan sintetis senyawa anorganik antara lain Ti, Al, Na, MnO_2 , Cl_2 .

Elektrodegradasi adalah penguraian limbah organik dan anorganik. Penguraian limbah dengan teknik ini menjadi lebih efisien dan hemat energi. Hasil akhir dari penguraian limbah organik adalah air dan gas CO_2 , sedangkan limbah anorganik seperti logam-logam akan terendapkan di katoda. Logam yang sudah terendapkan di katoda, dapat dipisahkan dengan melarutkan logam tersebut dalam asam kuat, kemudian dipisahkan menjadi logam murni melalui pengendapan (Fitria, 2013).

2.2.2 Sel Volta

Sel volta atau sel galvanik adalah sumber tegangan yang terdiri dari dua buah elektroda dengan rangkaian deret potensial dalam suatu larutan elektrolit. Pasangan elektroda yang memiliki beda deret potensial dalam suatu larutan elektrolit. Pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasangan elektroda C-Zn, dan Cu-Al (Pauzi, 2020). Sel volta adalah kutub negatif dan kutub positif. Jembatan garam memiliki fungsi sebagai pemberi suasana netral (*grounding*) dari kedua larutan yang menghasilkan listrik. Dikarenakan listrik yang dihasilkan harus mengalami reaksi kimia yang spontan maka pemilihan dari larutan elektrolit harus mengikuti aturan deret volta. Deret volta disusun berdasarkan daya oksidasi dan reduksi dari masing-masing logam. Urutan deret tersebut adalah sebagai berikut:

Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Cu Hg Ag Pt Au

Dapat disimpulkan bahwasanya pada deret volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan dibagian kanan.

Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka

- Logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron)
- Logam merupakan reduktor yang semakin kuat (semakin mudah mengalami oksidasi).

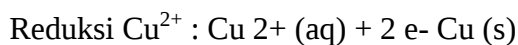
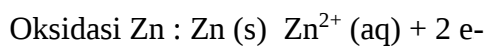
Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka

- Logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron)
- Logam merupakan oksidator yang semakin kuat (semakin mudah mengalami reduksi).

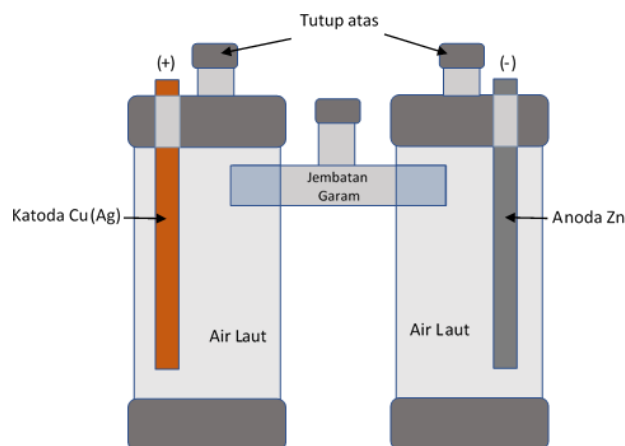
Sel volta dibedakan menjadi tiga jenis yaitu sel volta primer merupakan sel volta yang tidak dapat diperbarui (sekali pakai) dan bersifat tidak dapat balik (irreversibel) contohnya baterai kering. Sel volta sekunder merupakan sel volta yang dapat diperbarui (sekali pakai) dan bersifat dapat balik (reversibel) ke keadaan semula contohnya baterai aki. Sel volta bahan bakar (*full cell*) adalah sel volta yang tidak dapat diperbarui tetapi tidak habis contohnya sel campuran bahan bakar pesawat luar angkasa (Harhap, 2016).

Sel Galvani terdiri dari dua elektroda dan elektrolit. Elektroda-elektroda ini dihubungkan oleh konduktor yang dapat mengangkut elektron masuk dan keluar sel. Beberapa elektroda ada yang terlibat langsung dalam reaksi sel, sementara yang lain disebut elektroda inert yang tidak berperan dalam reaksi sel. Reaksi kimia terjadi pada permukaan elektroda. Anoda adalah elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi, dan katoda adalah elektroda tempat berlangsungnya reaksi reduksi. Setiap elektroda dan elektrolit dapat bereaksi membentuk setengah sel. Reaksi reaksi adalah reaksi yang menunjukkan hilangnya elektron atau reaksi yang menunjukkan perolehan elektron.

Contoh:



Kedua setengah sel bila dihubungkan akan membentuk sel elektrokimia lengkap. Reaksi kimia yang terjadi pada sel Galvani atau sel volta berlangsung secara spontan.



Gambar 2. Desain satu sel volta dan jembatan garam
(sumber *nalytical and Environmental Chemistry*)

Fungsi jembatan garam adalah menyetarakan kation dan anion dalam Larutan. Adapun syarat jembatan garam yaitu bisa dilewati ion dan hanya sedikit melewati pelarut. Dikarenakan perbedaan konsentrasi, ion-ion secara alami berdifusi dari konsentrasi tinggi ke rendah. Dalam natrium klorida, mobilitas ion klorida lebih besar dibandingkan dengan ion natrium (Raynaldi, 2021).

2.3 Potensial Elektroda Standar

Suryaman (2014) Potensial elektroda standar suatu elektroda didefinisikan sebagai DGL (daya gerak listrik) suatu sel yang terdiri dari elektroda yang direndam ke dalam suatu larutan yang mengandung ion dengan nilai aktivitas satu ($a = 1$) dan elektroda hidrogen standar sebagai perbandingan. Tekanan hidrogen 1 atm, suhu kamar. Sistem elektroda di dalam sel harus reversibel secara termodinamika yaitu:

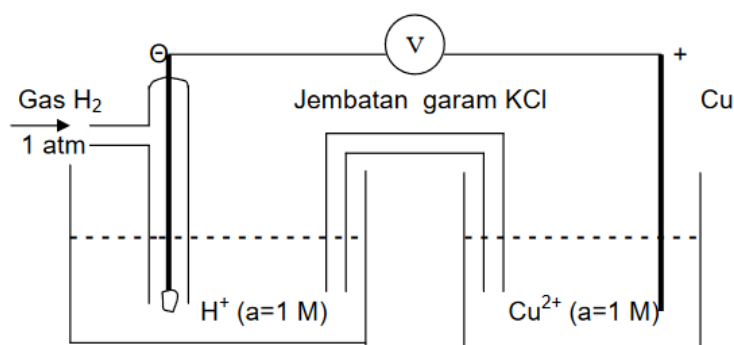
$$M^{n+} (a=1) + n e \rightleftharpoons M$$

Sebenarnya yang diukur bukanlah potensial elektroda, tetapi lebih tepat bila dikatakan sebagai beda potensial (terhadap hidrogen = 0 v). Yang umum dikenal adalah potensial reduksi standar.

Saat mengukur potensial sel elektrokimia, banyak kondisi yang harus dipenuhi antara lain:

- Semua pengukuran dilakukan pada suhu 298 K
- Keberadaan analit dalam kapasitas sebagai aktif (misalnya 1 mol/L)
- Semua pengukuran potensial sel dibandingkan dengan potensial sel standar menggunakan elektroda standar hidrogen.

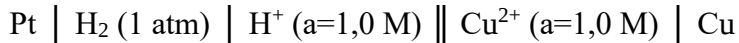
Potensial elektroda diukur dengan mempertimbangkan potensial elektroda standar, yang dilambangkan dengan E^0 . Cara yang sangat baik untuk menentukan potensial standar suatu sel adalah dengan membandingkannya dengan elektroda hidrogen standar. Pada kesempatan ini hanya akan membahas secara singkat bagaimana cara memperoleh nilai potensial standar. Pada gambar berikut, potensial setengah sel elektroda tembaga diukur dalam larutan tembaga (II). Untuk itu akan dibandingkan dengan elektroda hidrogen, yang gambar selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 3. Cara Pengukuran Potensial Standar

(Sumber: Chemistisme)

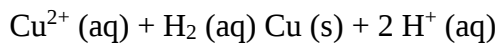
Mengukur potesial elektroda standar menggunakan reaksi reduksi. Ukur potensi reduksi ion tembaga (II) menjadi tembaga dengan membandingkannya dengan elektroda hidrogen standar. Elektroda hidrogen standar ditempatkan di sisi kiri sel elektrokimia, dan elektroda tembaga ditempatkan di sisi kanan. Sistem sel elektrokimia dapat ditulis dalam notasi sel sebagai berikut:



Persamaan setengah selnya adalah:



Kombinasi dua persamaan tersebut menjadi reaksi total sebagai berikut:



Besarnya emf sel dituliskan sebagai:

$$E (\text{sel}) = E (\text{kanan}) - E (\text{kiri})$$

Atau untuk kondisi/keadaan standar besarnya E sell:

$$E^\circ (\text{sel}) = E^\circ (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E^\circ (\text{ehs})$$

Karena disepakati bahwa nilai potensial elektroda standar dari elektroda standar hidrogen adalah nol, maka pada sistem pengukuran di atas, gaya gerak listrik yang diukur sama dengan nilai potensial reduksi standar elektroda tembaga untuk proses reaksi reduksi tembaga (II) menjadi tembaga Atau secara matematis:

$$E^\circ (\text{ehs}) = 0 \text{ volt, maka}$$

$$E^\circ (\text{sel}) = E^\circ (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})$$

Metode yang sama seperti pada contoh di atas digunakan ketika mengukur nilai potensial elektroda standar dari system reaksi reduksi lainnya. Dengan cara ini, nilai standar potensial reduksi untuk berbagai reaksi dapat diperoleh. Detailnya dapat dilihat pada gambar 4.

Setengah Reaksi	E° (Volt)
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e} \rightleftharpoons \text{Li}(\text{s})$	-3,04
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e} \rightleftharpoons \text{K}(\text{s})$	-2,92
$\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ba}(\text{s})$	-2,90
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{s})$	-2,87
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e} \rightleftharpoons \text{Na}(\text{s})$	-2,71
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{s})$	-2,37
$\text{Be}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Be}(\text{s})$	-1,85
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$	-1,66
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{s})$	-1,18
$2\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-0,83
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s})$	-0,76
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{s})$	-0,74
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-0,44
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{s})$	-0,40
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Co}(\text{s})$	-0,28
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{s})$	-0,25
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{s})$	-0,14
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$	-0,13
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{s})$	0,00
$\text{Sb}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}(\text{s})$	+0,10
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{s})$	+0,13
$\text{Cu}^+(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	+0,34
$\text{Hg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Hg}(\text{s})$	+0,62
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	+0,77
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	+0,80
$\text{Br}_2(\text{aq}) + \text{e} \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,07
$\text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pt}(\text{s})$	+1,50
$\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Au}(\text{s})$	+1,52
$\text{Co}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Co}(\text{s})$	+1,82
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	+2,87

Gambar 4. Standar Potensial Standar

(Sumber: Chemistisme)

2.4 Sumber Arus DC

Lonteng (2017) Arus searah (DC) didefinisikan sebagai arus listrik yang mempunyai polaritas konstan terhadap waktu. Jika nilai polaritasnya sama, nilai saat ini akan berbeda seiring waktu. Nilai polaritas bisa tetap positif atau negatif. Sistem DC dapat digunakan baik dalam kondisi normal maupun dalam situasi darurat sebagai tambahan utama untuk menyediakan arus searah (DC) yang diperlukan untuk memberi daya pada pengontrol, relai, dan perangkat yang memerlukan daya DC. Peralatan yang menggunakan sumber tegangan arus searah (DC) antara lain charger, baterai, dan perangkat lain seperti peralatan listrik, meter, panel control, dan indikator. Tenaga DC yang berasal dari penyearah tiga fasa maupun satu fasa (batch), baik pada kondisi normal maupun di gardu induk, disuplai oleh satu atau dua buah baterai yang digunakan untuk peralatan kendali, peralatan proteksi, dan peralatan lain yang menggunakan daya DC yang disumbangkan sel. Di gardu-gardu induk maupun pusat-pusat pembangkit tenaga listrik sumber DC ini berfungsi sebagai:

1. Sumber daya motor-motor untuk PMT, PMS, changer, trafo daya dan sebagainya.
2. Sumber tenaga untuk alat-alat kontrol, tanda-tanda isyarat (sinyal dan alarm).
3. Daya untuk peralatan telekomunikasi (PLC).
4. Daya untuk penerangan darurat.
5. Daya untuk relay proteksi.

2.5 Sumber Arus AC

Lonteng (2017) Pengisi daya atau penyearah adalah serangkaian rangkaian listrik yang dirancang untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Umumnya penyearah yang dipasang di gardu induk digunakan untuk mengisi daya dan memberikan daya terus menerus ke baterai dan menjaga baterai, menjaga baterai dalam kondisi baik dan menjamin keandalan unit pembangkit listrik. Dalam hal ini, baterai harus tetap terhubung ke penyearah harus disesuaikan dengan kapasitas baterai bawaan. Setidaknya kapasitas saat ini harus cukup untuk mengisi baterai tergantung pada jenis baterai yaitu 0,2 C ($0,2 \times \text{kapasitas}$) sedangkan untuk baterai asam adalah 0,1 C ($0,1 \times \text{kapasitas}$) ditambah beban statis (tetap) untuk pembangkit. Sumber tegangan AC penyearah tidak boleh hilang atau habis. Untuk itu pengecekan tegangan baik tegangan masukan (AC) maupun tegangan keluaran (DC) harus dilakukan secara berkala. Prinsip kerja penyearah adalah sumber tegangan (AC) satu fasa maupun tiga fasa disuplai melalui terminal masukan trafo step-down dan tegangan diturunkan dari 380 Volt atau 220 Volt menjadi tegangan 110 V. Daya arus bolak-balik (AC) kemudian diubah menjadi daya arus searah (DC) menggunakan rangkaian thyristor/dioda penyearah yang masih menimbulkan kesalahan bentuk gelombang dan riak gelombang. Untuk memperbaiki ripple atau cacat gelombang tersebut diperlukan suatu rangkaian penyaring atau filter sebelum terminal output.

2.6 Jenis – Jenis Elektroda

2.6.1 Seng (Zn)

Logam seng merupakan logam berwarna putih kebiruan. Logam ini keras dan rapuh pada sebagian besar suhu, tetapi menjadi dapat ditempa antara 100 sampai dan 150 °C. Logam menjadi rapuh kembali pada suhu 210 °C dan dapat dihancurkan

menjadi bubuk dengan memukul-memukulnya. Logam murni larut sangat lambat dalam asam dan basa. Seng mudah larut dalam asam klorida (HCl) encer dan asam sulfat encer dengan mengeluarkan hidrogen. Seng merupakan unsur paling melimpah ke-24 di kerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Tingkat komposisi unsur seng di kerak bumi adalah sekitar 75 (Hambidge, 2017).

2.6.2 Titanium (Ti)

Titanium paduan dan murni memiliki sifat biomekanik dan biokompatibilitas yang lebih unggul dibandingkan logam lainnya. Secara biologis titanium bereaksi lambat dan secara spontan dapat membentuk TiO_2 di permukaannya sehingga sangat tahan terhadap korosi. Titanium adalah logam transisi yang ringan, berkilau, metalik dan keperakan. Keunggulan sifat titanium antara lain memiliki perbandingan antara kekuatan dan berat yang baik pada suhu tinggi, bersifat tahan patah dan tahan korosi pada temperature tinggi. Titanium memiliki bobot 60% lebih berat dari aluminium tetapi memiliki kekuatan dua kali lebih besar dari aluminium. Karena keunggulan-tersebut, titanium lebih umum dikembangkan sebagai bahan isi dibandingkan jenis logam lainnya (Thepsonthi, 2012).

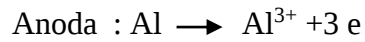
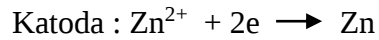
2.6.3 Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14. Senyawa yang terbentuk bersifat magnetis lemah dan unsur kimia ini ditemukan Jons Jakob Barzelius. Silikon merupakan unsur metaloid yang mempunyai sifat gabungan unsur logam dan non logam, bersifat lebih tidak reaktif dari pada karbon, unsur nonlogam yang tepat berada di atasnya pada tabel periodik, tapi lebih reaktif daripada germanium, metalloid yang berasal persis di bawahnya pada tabel periodik. Silikon pertama kali diproduksi dalam bentuk murni pada tahun 1824 dengan silisium dari Bahasa Latin: *Silicis*, dengan akhirin ium yang berarti logam. Namun namanya diubah menjadi silicon pada tahun 1831 karena sifat fisiknya lebih mirip dengan karbon dan boron (Thepsonthi, 2012).

2.6.4 Aluminium (Al)

Aluminium merupakan logam yang tidak dapat diperbarui. Aluminium merupakan material yang sifat mekanik yang sangat baik, terutama pada material struktural atau mesin. Selain itu, aluminium memiliki beberapa keunggulan: ringan, sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, ketahanan korosi yang baik

dan kekuatan tariknya dapat ditingkatkan dengan proses pengerjaan dingin atau melalui proses perlakuan panas (Sadiana Riri, 2020). Berikut merupakan reaksi antara Zn dan Al :



Dapat dilihat dari reaksi tersebut yaitu Zn sebagai katoda yang mengalami reduksi sedangkan pada Al sebagai anoda yang mengalami oksidasi sehingga pada Zn dan Al dapat bereaksi.

2.6.5 Nikel (Ni)

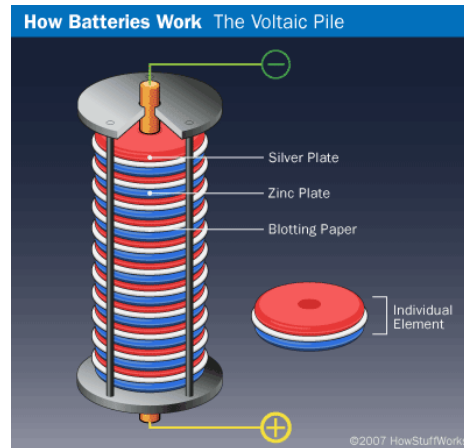
Nikel (Ni) merupakan logam berwarna putih keperakan yang dapat digabungkan dengan logam lain sehingga membentuk campuran yang disebut logam paduan (Miaratiska Nurul, 2015). Secara kimia unsur nikel termasuk dalam golongan VII B dari tabel periodik. Nikel merupakan bahan tahan karat dengan berat 8,90 g/cm dan titik didih 2837°C. nikel lunak dalam keadaan murni, tetapi membentuk baja tahan karat keras jika digabungkan dengan besi, kromium, dan logam lainnya.

2.6.6 Kuningan

Kuningan merupakan paduan dari tembaga (Cu) dengan seng (Zn). Perubahan prosentase Zn dalam paduan tersebut menyebabkan perubahan sifat-sifat dari kuningan baik fisik maupun mekanik. Untuk mendapatkan kuningan istimewa maka ditambahkan logam-logam tertentu (Nugroho, 2018).

2.7 Voltaic Pile (Tumpukan Volta)

Tumpukan Volta adalah rangkaian beberapa sel galvanik. Dalam tumpukan volta, dua jenis logam berbeda ditumpuk satu sama lain dan dipisahkan oleh penghalang elektrolitik sehingga menyebabkan reaksi elektrokimia. Ketika kedua ujung paket tegangan dihubungkan, arus listrik mengalir dan berfungsi seperti baterai.



Gambar 5. Tumpukan Volta

(Sumber Berbagi Ilmu Fisika)

Mengenai tegangan listrik yang dihasilkan oleh *Pile*-nya, Volta melaporkan bahwa tegangan tersebut bergantung pada jenis logam yang digunakan. Keterangan Volta tentang tegangan baterai dapat ditulis dengan terminologi modern seperti pada persamaan:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

Artinya, tegangan keseluruhan adalah jumlah kontribusi masing-masing elemen baik positif atau negatif tergantung urutan tumpukan pelat logam di dalam elemen. Volta tidak memiliki instrumen yang dapat diandalkan untuk mengukur tegangan tersebut, volta kemudian kembali ke elektrofisiologi untuk “mengukur” aliran arus yang disuplai oleh *pile*. Dinyatakan dengan jelas bahwasanya untuk merasakan sengatan listrik yang kuat, permukaan logam tumpukan yang basah harus disentuh, dapat dikatakan bahwasanya air garam bekerja lebih baik daripada air murni dalam piringan yang dibasahi.

2.8 Fly Ash dan Bottom Ash (FABA)

Fly ash (abu terbang) merupakan abu yang dihasilkan dari pelelehan material anorganik yang terkandung dalam batubara dan bentuknya merupakan bubuk halus serta merupakan material dengan sifat pozzolan yang baik. Pozzolan adalah bahan yang mengandung silikon dioksida dan aluminium yang secara kimia bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu tertentu membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Marthinus dkk., 2015). Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida

(Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta potassium, sodium, titanium, dan sulfur dalam sedikit (Kevin Karens, 2015). Sedangkan, *bottom ash* (abu dasar) merupakan abu yang terbentuk di bawah tungku proses pembakaran (Eka, 2017). Kenampakan fisik *bottom ash* mirip dengan pasir sungai alami, dan gradasinya bervariasi seperti pasir halus dan pasir kasar (Kevin, 2016).

2.9 Larutan Elektrolit

Larutan adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik, sedangkan larutan non-elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Larutan elektrolit dapat menghantarkan listrik karena didalamnya mengandung ion-ion yang mudah berpindah menuju elektroda yang mempunyai muatan berlawanan dengan ion tersebut. Ion-ion dalam elektrolit selalu bergerak dan ion-ion inilah yang sebenarnya menghantarkan arus melalui larutan. Contoh larutan elektrolit adalah larutan NaCl , KCl dan CaCl_2 . Larutan NaCl menghantarkan listrik karena setiap molekul NaCl dapat dipecah menjadi (terionisasi sempurna) ion Na^+ dan Cl^- . Akibatnya konduktivitas listrik yang dihasilkan kuat. Dengan demikian larutan NaCl dapat digolongkan sebagai larutan elektrolit kuat. Saat mengukur konduktivitas dengan multimeter terjadi perubahan warna yang menunjukkan adanya unsur logam Na dalam larutan. Menurut persamaan reaksi NaCl (Widodo, 2018).

Kalsium klorida merupakan elektrolit yang kuat sehingga mudah larut dalam air dan ion Ca mudah diserap ke dalam jaringan sehingga memperkuat dinding sel (Daniawan, 2016).

2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 1. Penelitian Terdahulu Mengenai Elektrokimia dan Elektrolisis

No	Nama Penulis	Judul dan Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
1	Wiharti, Riyanto dan Noor Fitri	Aplikasi Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) Dan Karbon © Untuk Penurunan Kadar Cr Dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Desa	Pada penelitian ini digunakan elektroda Cr dan Cu dan ditemukan bahwa elektroda Cu-Cu mampu menurunkan kandungan Cr pada limbah cair penyamakan kulit lebih banyak dibandingkan

No	Nama Penulis	Judul dan Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
		Stimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta (2018).	dengan elektroda Cu-Cu dan elektroda Cu-C.
2	Ruslan Abdul Hamid, Purwono, Wiharyanto Okitiawan	Penggunaan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik Dan Waktu Elektrokimia Dalam Penurunan Konsentrasi TSS Dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Domestik (2017).	Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi TSS dan COD pada pengelolaan air limbah domestik menggunakan metode elektrolisis dengan elektroda karbon adalah sebagai berikut terhadap parameter TSS: Semakin tinggi tegangan yang digunakan maka semakin cepat pula terbentuk gelembung-gelembung udara yang terbentuk secara flotasi, sehingga menyebabkan padatan tersuspensi dalam air limbah terapung ke permukaan sehingga mempengaruhi jumlah TSS dalam air limbah.
3	Nuriadi, Mery Napitupulu, Nurdin Rahman	Analisis Logam Tembaga (Cu) Pada Buangan Limbah Tromol (Tailing) Pertambangan Poboya (2013).	Residu yang berasal dari limbah pengelolaan emas penambangan emas di Poboya mengandung logam tembaga (Cu) dalam jumlah yang cukup besar. Logam tembaga (Cu) diukur pada setiap konsentrasi sampel dengan nilai rata-rata 159,94 mg/kg.
4	Gurum Ahmad Pauzi, Mia Abi Nisa, Ahmad Saudi Samosir, Sri Ratna Sulistiyanti, Wasinton Simanjuntak	Peningkatan Karakteristik Listrik Sel Elektrokimia Cu (Ag)- Zn Dengan Penggunaan Anoda Tumbal Mg Pada Accumulator Berbahan Air Laut (2020).	Penggunaan Mg sebagai anoda pada sistem elektrokimia reservoir air laut menghasilkan sifat kelistrikan yang dua kali lipat rata-rata selisih tegangan rangkaian terbuka dibandingkan tidak menggunakan anoda Mg tumbal. Penggunaan Mg juga mengurangi resistensi di dalam sel dibandingkan dengan sel

No	Nama Penulis	Judul dan Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
5	Muhammad Adam Rizky Syawalian, Yohana, Abdul Kahar	Pengaruh Kuat Arus Dan Tegangan Terhadap Perubahan Kandungan Logam Pada Lindi TPA Sampah Dengan Metoda Elektrolisis (2019)	elektrokimia yang tidak menggunakan anoda Mg tumbal. Penelitian ini menggunakan metode elektrolisis ini waktu yang digunakan yaitu masing-masing 30, 45 dan 60 menit serta tegangan (V) yang digunakan yaitu masing-masing 3.6, 6.6 dan 9.6V. Dimana kadar Fe setelah dielektrolisis masing-masing pada 30 menit ialah 0.1064, 0.1046 dan 0.1209 mg/L, pada 45 menit ialah 0.1157, 0.1283 dan 0.1066 mg/L dan 60 menit ialah 0.1084, 0.1247 dan 0.1139 mg/L. Sedangkan variasi waktu dan tegangan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kandungan logam dalam air lindi. Kadar Zn setelah dielektrolisis masing-masing pada 30 menit 0.0009, 0.0007 dan 0.0006 mg/L, 45 menit ialah 0.0005, 0.0006 dan 0.0006 mg/L dan 60 menit ialah 0.0004, 0.0015 dan 0.0007 mg/L.