

Pengaruh Tegangan Listrik Dan Konsentrasi Larutan Elektrolit Pada Proses Pemurnian Timah (Sn) Berdasarkan Metoda *Electrolytic Refining* di Unit Metalurgi PT. Timah Tbk, Mentok, Bangka Barat, Bangka Belitung.

Bayu Muhammad Ilham^{1,*}, and Fadhilah^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

[*bayumuhammadilham@yahoo.co.id](mailto:bayumuhammadilham@yahoo.co.id)

**fadhilah@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Timah Tbk (TINS) is the largest tin producer in the World. One of the products produced by TINS is tin with 99.99% Sn content, it is the result of the electrolytic refining process with electrolysis method. Electrolysis is influenced by several factors such as electric current and voltage, electrode dimensions, pH and the concentration of the electrolyte solution used. This research has aim to determine the appropriate values of voltage and electrolyte concentration values to optimize the tin (Sn) electrolysis process. The research was carried out in two stages experiment using electrolyte Stannous Chloride (SnCl_2) dissolved with Hydrochloric Acid (HCl) and Aquadest. The first with the voltage values of 6, 9, and 12 volts at the electrolyte solution concentration of 0.001 M, the reduced Sn mass was 0.04257, 0.0885, and 0.1182 grams. The next with the electrolyte solution concentration of 0,002, 0,003, 0,004 and 0,005 M at the voltage 12 Volts, the reduced Sn mass was 0,1620, 0,2005, 0,3318 and 0,4158 grams. It is known that the optimal electrolysis process is with a voltage of 12 Volts and a electrolyte solution concentration of 0.005 M. This shows the effect of increasing voltage and electrolyte solution concentration values, will optimize electrolysis process.

Keywords: Electrolysis, Electrolyte Solution Concentration, Electrolytic Refining, Tin, Voltage.

1. Pendahuluan

Timah (Sn) adalah logam dengan nomor atom 50, berat jenis $7,3 \text{ g/cm}^3$ dan memiliki 10 isotop stabil. Logam timah berwarna putih keperakan, dengan kekerasan yang rendah, bersifat mengkilap dan mudah dibentuk, serta mempunyai sifat konduktivitas panas dan listrik yang tinggi. Timah diperoleh terutama dari mineral kasiterit (SnO_2), yang terbentuk sebagai oksida, tidak mudah teroksidasi, sehingga tahan karat.^[1]

Timah digunakan sebagai logam paduan sejak 3.500 tahun sebelum masehi dan sebagai logam murni digunakan sejak 600 tahun sebelum masehi.^[1] Indonesia sebagai salah satu produsen timah terbesar dunia, telah melakukan kegiatan pertambangan timah sejak lebih dari 300 tahun yang lalu, yaitu di Bangka mulai tahun 1711 di Singkep tahun 1812 dan di Belitung sejak tahun 1852.^[2]

Salah satu perusahaan penghasil timah terbesar di Indonesia adalah PT. Timah Tbk. yang merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang pertambangan timah dan telah terdaftar di Bursa Efek Indonesia sejak tahun 1995. Kantor pusat perusahaan berada di Pangkalpinang, Provinsi Bangka Belitung dan memiliki wilayah operasi di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Provinsi Riau, Kalimantan Selatan, Sulawesi Tenggara serta Cilegon, Banten.

Secara umum kegiatan operasi yang dilakukan oleh PT. Timah Tbk, meliputi beberapa kegiatan seperti Eksplorasi, Penambangan darat dan laut, serta Pengolahan dan peleburan.

Pada laporan eksplorasi untuk bulan Januari 2020 disebutkan perusahaan masih terus melakukan kegiatan operasi eksplorasi baik darat ataupun laut di wilayah Bangka dan Belitung.

Kegiatan Eksplorasi di laut, berupa kegiatan pemboran geologi, prospeksi dan pemboran rinci di

perairan Bangka tepatnya di laut Muntok dan Laut Toboali dengan menggunakan 3 (Tiga) unit Kapal Bor dengan total meter bor sebanyak 4.574 meter

Kegiatan Eksplorasi di darat meliputi Geomagnet, core logging, percontaan core, pengukuran grid bor dan pemboran timah primer di pulau Bangka tepatnya di Nyelanding Payung dan Belitung di Mengkubang Damar dengan total meter bor sebanyak 2.409 meter

Penambangan darat dilakukan perusahaan di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) perusahaan yang berlokasi di sebagian besar Pulau Bangka dan Belitung serta Kepulauan Riau. Proses penambangan timah darat (alluvial) menggunakan metode pompa semprot (*gravel pump*).

Penambangan lepas pantai, PT Timah Tbk mengoperasikan kapal keruk dengan jenis *Bucket Line Dredges* dengan ukuran mangkuk mulai dari 7 cuft sampai dengan 24 cuft dan dapat beroperasi mulai dari 15 sampai 50 meter dibawah permukaan laut dengan kemampuan gali mencapai lebih dari 3,5 juta meter kubik material setiap bulannya.

Pengolahan dan peleburan bijih timah yang dihasilkan tambang laut dan tambang darat dengan kadar Sn yang berkisar antara 20-30% diproses di Pusat Pencucian Bijih Timah untuk dipisahkan dari mineral ikutan lainnya dan ditingkatkan kadarnya hingga mencapai 72- 74% sebagai syarat utama peleburan.

Setelah bijih timah ditingkatkan kadar Sn nya, bijih timah siap dilebur menjadi logam timah. Untuk mendapatkan logam timah dengan kualitas tinggi dan kadar timbal (Pb) yang rendah maka harus dilakukan pemurnian dengan menggunakan *crystallizer* dan *electrolytic refining*.

Produk timah yang dihasilkan oleh PT. Timah Tbk, memiliki kadar yang berbeda dimana perbedaan kadar ini disebabkan oleh perbedaan proses pemurnian bijih timah. Proses pemurnian bijih timah yang dilakukan oleh PT. Timah Tbk, meliputi *pyrorefining* yang menghasilkan produk dengan kadar Sn 99,85%, *eutectic refining* yang menghasilkan produk dengan kadar Sn 99,93% dan *electrolytic refining* yang menghasilkan produk dengan kadar Sn 99,99%.

Meskipun produk yang dihasilkan dari proses *electrolytic refining* merupakan produk dengan kadar kemurnian yang tinggi, namun waktu produksi pada proses yang menggunakan metode elektrolisis ini relatif lebih lambat dari dua metode lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus dan tegangan listrik, dimensi anoda dan katoda yang digunakan, serta pH dan konsentrasi cairan elektrolit yang digunakan.^[3]

Dengan melihat banyaknya faktor yang mempengaruhi efektifitas proses *electrolytic refining* maka peneliti sangat tertarik untuk melakukan penelitian tentang faktor yang mempengaruhi optimalisasi proses elektrolisis dalam proses pemurnian timah. Batasan dalam penelitian ini adalah penelitian hanya mengacu kepada prinsip dasar dari metoda *electrolytic refining* di unit metalurgi PT. Timah Tbk., yaitu elektrolisis.

Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis peneliti hanya melakukan penelitian dengan

memvariasikan nilai tegangan listrik dan konsentrasi larutan elektrolit untuk melihat pengaruhnya terhadap optimalisasi proses elektrolisis.

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan percobaan dalam dua tahapan percobaan dengan memvariasikan nilai dari tegangan dan konsentrasi larutan elektrolit sehingga diketahui nilai yang tepat untuk mengoptimalkan proses pemurnian timah.

2. Landasan teori

2.1. Endapan timah

Endapan timah secara umum terdiri dari dua macam, yaitu endapan timah primer dan endapan timah tempatan. [4] Endapan timah primer merupakan endapan bijih timah yang masih berada pada batuan pembawa timah atau batuan tempat bijih timah terbentuk. Batuan pembawa timah yang ada di Indonesia adalah batuan granit yang berumur Trias, dengan penyebaran membentang dari China, Thailand, Malaysia, Kepulauan Bangka Belitung hingga bagian barat Kalimantan. Jalur ini sering disebut dengan sabuk timah asia (*tin belt zone*). Sedangkan endapan timah tempatan (*placer*). adalah jenis endapan timah yang sudah bergeser dari batuan sumbernya dan terendapkan di tempat yang baru akibat proses pelapukan, transportasi dan pengendapan kembali.

a. Proses terbentuknya endapan timah primer
Endapan timah primer terbentuk sebagai bagian dari proses magmatisme pembentukan batuan beku granit yang merupakan batuan bersifat asam. Pada saat-saat akhir pembentukan batuan, yaitu pada suhu sekitar 800° sd 400°C, kondisi magma banyak mengandung gas sebagai larutan sisa, yang diantaranya adalah senyawa SnF₄. Senyawa tersebut kemudian bereaksi dengan air (H₂O) membentuk mineral SnO₂ (*Casiterite*) dan HF (*hidrogen fluorida*).

Sebagai larutan sisa yang banyak mengandung gas maka mudah bergerak mengisi rongga dan celah batuan yang ada di atasnya. Dengan demikian endapan timah primer terjebak di bagian atas tubuh batuan granit, di celah-celah retakan dan rongga batuan yang berada di atasnya.

b. Proses terbentuknya endapan timah *placer*
Endapan timah *placer* sering disebut juga sebagai endapan timah alluvial, karena sebagian besarnya berupa endapan sedimen yang terbentuk di daratan (alluvial). Meskipun saat ini keberadaannya banyak di laut, namun pada saat terendapkan kondisinya masih berupa daratan. Faktor-faktor yang mengontrol terbentuknya endapan timah *placer* adalah keberadaan bantuan sumber pembawa, terjadinya proses pelapukan, erosi, transportasi dan sedimentasi, serta adanya cekungan atau lembah yang menjadi tempat terendapkannya material hasil pelapukan.

Tipologi endapan timah *placer* terdiri dari endapan *elluvial*, *coluvial*, endapan kipas, endapan sungai, endapan rawa dan endapan pantai. Sebagian besar

endapan timah yang ditemukan di kepulauan timah Indonesia adalah endapan sungai (*alluvial*).

2.2. Proses pengolahan bijih timah

Pengolahan bijih timah menjadi logam timah diawali dengan tahapan konsentrasi (mineral *dressing*). Tahapan ini merupakan kegiatan peningkatan kemurnian timah dengan cara pemisahan menggunakan peralatan seperti Jig Concentrator, palong dan meja goyang. Bijih timah yang memiliki kadar awal sekitar 30-65% Sn diolah hingga mencapai kadar timah minimum sebesar 70% Sn supaya dapat dipergunakan sebagai umpan pada peleburan tahap pertama.^[4]

Selanjutnya tahapan ekstraksi merupakan proses reduksi logam timah dari konsentrat bijih timah. Proses ekstraksi dilakukan dengan metode *pyrometallurgy* dan juga metode *hydrometallurgy*. *Pyrometallurgy* merupakan proses ekstraksi timah dengan prinsip perbedaan temperatur leleh antara logam timah dengan unsur pengotornya. Sedangkan *hydrometallurgy* merupakan proses ekstraksi timah dengan prinsip perbedaan kelarutan antara logam timah dengan unsur pengotornya. Tetapi karena sulitnya melarutkan logam timah, proses ekstraksi timah dengan penggunaan metode *hydrometallurgy* seperti proses *leaching* jarang dipakai untuk produksi skala besar. Hampir semua industri pengolahan timah memakai metode *pyrometallurgy* seperti *smelting* atau *liquation*. Proses *smelting* ini terdiri dari dua tahapan. Peleburan tahap pertama adalah peleburan konsentrat timah yang menghasilkan timah kasar (*crude tin*) dan terak I (*slag*). Kadar timah dalam terak I ini adalah sekitar 20 persen. Terak I kemudian dilebur kembali di peleburan tahap kedua. Peleburan pada tahap dua ini menghasilkan senyawa Fe-Sn yang disebut *hardhead* dan terak II dengan kadar Sn kurang daripada satu persen.

Tahapan terakhir dalam proses pengolahan timah adalah proses pemurnian (*refining*). Proses pemurnian bijih timah meliputi *pyrorefining*, *eutectic refining* dan *electrolytic refining*. Proses *pyrorefining* yaitu proses pemurnian dengan memanfaatkan perbedaan temperatur leleh dari timah dengan pengotornya. Proses *eutectic refining* yaitu pemurnian yang didasarkan pada perbedaan temperatur solidifikasi antara timah dengan pengotornya. Proses *electrolytic refining* yaitu proses pemurnian dengan menggunakan metode elektrolisis.

2.3. Elektrolisis dan hukum Faraday

Elektrolisis adalah suatu proses reaksi kimia yang terjadi pada elektroda yang tercelup dalam larutan elektrolit ketika dialiri arus listrik dari suatu sumber potensial luar.^[5] Terdapat tiga ciri utama suatu proses elektrolisis, yaitu adanya ion bebas dalam suatu larutan elektrolit, terdapat sumber arus dc dari luar dan memiliki dua elektroda, yaitu katoda dan anoda. Energi listrik berfungsi sebagai pompa electron yang menggerakkan elektron ke katoda, dan menarik elektron dari anoda.^[6]

Hubungan antara besarnya energi listrik yang dialirkan dengan banyaknya zat yang dihasilkan dalam

sel elektrolisis dirumuskan oleh Michael Faraday yang dikenal dengan hukum Faraday I dan II. Hukum Faraday I berbunyi “jumlah perubahan kimia yang dihasilkan sebanding dengan besarnya muatan listrik yang melewati suatu sel elektrolisis”. Hukum Faraday II berbunyi sejumlah arus tertentu menghasilkan jumlah ekuivalen yang sama dari benda apa saja dalam suatu elektrolisis”.^[7]

Untuk menghitung massa produk logam yang dihasilkan pada proses elektrolisis digunakan rumus sebagai berikut:^[7]

$$W = \frac{e I t}{96500} = \frac{Ar \text{ Logam}}{pbO} \times \frac{I t}{96500} \quad (1)$$

Dimana:

W = massa produk (gram).

t = waktu (d).

Ar = massa atom relatif.

pbO = perubahan biloks.

I = arus (A).

2.4. Konsentrasi larutan dan molaritas

Larutan merupakan campuran homogen dari dua zat-zat terlarut dan zat pelarut untuk melarutkannya. Konsentrasi larutan didefinisikan sebagai banyaknya zat terlarut dalam sejumlah pelarut. Salah satu satuan dalam konsentrasi larutan adalah Molaritas.^[8]

Satu molar, atau 1M suatu larutan didefinisikan sebagai satu mol suatu zat terlarut di dalam 1 liter larutan. Secara matematis adalah sebagai berikut:^[8]

$$\text{molaritas zat A} = \frac{WA \times 1000}{MA \times V} \quad (2)$$

Dimana:

W_A = Massa zat A (gram)

M_A = Mr zat A

V = Volume larutan (mL)

2.5. Elektrolisis timah

Pemilihan elektrolit merupakan salah satu pertimbangan dalam proses *electrolytic refining* logam khususnya logam timah. Komposisi dari elektrolit sangat mempengaruhi kepadatan dan ketebalan dari deposit timah pada produk katoda nantinya. Elektrolit diatur agar mudah berdifusi pada katoda dan tidak terjadi arus pendek. Beberapa elektrolit yang sudah dikenal dan digunakan dalam proses *electrolytic refining* timah^[1] adalah sebagai berikut:

a. Elektrolit asam klorida

Elektrolit ini terbuat dari larutan *stannous chloride* dan asam hidroklorida. Larutan ini dijaga agar tidak terjadi hidrolisis SnCl₂ dan peningkatan konduktivitas listrik pada larutan. Saat anoda terdissosiasi akan membentuk ion Sn²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, Bi³⁺, Sb³⁺, AsO₃⁻, Pb²⁺. Ion Pb akan membentuk endapan PbCl₂. Walaupun membentuk endapan PbCl₂ memiliki kelarutan yang tinggi pada suhu 20°C dapat larut 9,9 gr dalam 1 liter air. Ion Sb³⁺ dan

Bi^{3+} akan terhidrolisis membentuk oksiklorida yang larut (BiOCl). Tembaga, besi dan arsenik akan larut dalam elektrolit.

Kekurangan elektrolit jenis ini ion sulfat akan menyebabkan anoda akan melarutkan kembali Pb pada lumpur dan membentuk PbSO_4 . Salah satu kendala lain dalam penggunaan zat asam sebagai elektrolit yaitu terbentuknya lapisan di anoda karena adanya kandungan Pb di anoda. Untuk itu lapisan pengotor di anoda itu harus dibersihkan secara berkala.

Dalam elektrolit larutan klorida hanya Fe dan Pb yang dapat dipisahkan dari Sn. Selain dari rendahnya tingkat penghilangan pengotor, kekurangan yang utama dari elektrolit ini yaitu deposit timah yang menempel pada katoda berbentuk kristal dendrite yang kurang menempel kuat pada katoda hal dapat menyebabkan arus pendek. Elektrolit jenis ini dapat dipakai untuk pemurnian lead-tin alloy untuk memisahkan Sn dan Pb.

b. Elektrolit *fluorosilicate* dan *sulphate-organic*
Stannous fluorosilicate (SnSiF_6) sama seperti PbSiF_6 , larut dengan baik di air. Alasan kenapa elektrolit *fluorosilicate* digunakan untuk memurnikan Sn didapat dari analogi proses pemurnian Pb. Proses elektrolisis dilakukan dalam sel yang terbuat dari wadah kayu yang dilapisi dengan aspal. Rapat arus yang digunakan 120 A/m^2 . Untuk mendapatkan endapan yang padat diperlukan penambahan gelatin dan cresol dan bahan aditif lainnya.

Saat anoda larut dalam elektrolit *fluorosilicate*, Cu, Bi, Sb, As berjatuh membentuk lumpur dan dapat terpisah dengan baik dari Sn. Hanya Pb yang beresiko dapat ikut menempel pada katoda. Untuk menghindari itu perlu dilakukan penambahan asam sulfat agar terbentuk endapan Pb dan membentuk lumpur di dasar sel. Penggunaan elektrolit *fluorosilicate* dapat memisahkan hampir semua pengotor dalam timah dengan kemurnian mencapai 99.99%. tetapi penambahan asam sulfat berlebih dapat menyebabkan endapan anoda berbentuk kristal dendrit dan terbentuknya lapisan pasif pada anoda.

Salah satu masalah yang terjadi dari proses ini yaitu cepatnya korosi yang terjadi pada instalasi terutama pada karet penyemprot elektrolit, pompa dan bak elektrolit. Terlebih lagi Penyiapan *fluorosilicate* mahal dan elektrolit yang berbahaya karena bersifat racun serta mudah terdekomposisi. Beberapa aditif organik ditambahkan untuk mendapatkan endapan yang padat dan halus. Dan munculah elektrolit *sulphate-organic*. Penggunaan elektrolit H_2SiF_6 dan H_2SO_4 yang tidak melarutkan antimony, bismuth dan tembaga.

Elektrolit *sulphate-organic* dapat terbuat dari *benzene*, *phenol*, *cresol*, *toluene*, *naphthalene* dan lain-lain yang di-*threatment* dengan asam sulfat panas. Elektrolit ini dapat menghindari deposit timah yang berbentuk spons dengan penambahan gelatin dan cresol. Elektrolit ini menggunakan rapat arus $85-108 \text{ A/m}^2$ dengan suhu 35°C . dengan kemurniaan yang didapat sampai 99,98% Sn. Kelemahan dari elektrolit ini yaitu terbentuknya lapisan pasif di anoda dari deposit Pb. Elektrolit berupa asam *sulphate-organic* memiliki kekurangan yaitu mahalnya biaya produksi.

c. Elektrolit *alkali hydroxide* dan *alkali sulphide*

Elektrolit terbuat dari *sodium thioastannete* (Na_4SnS_4) dan larutan Na_2S . untuk mendapatkan deposit Sn yang padat dipakai rapat arus yang kecil dengan suhu larutan $80-90^\circ\text{C}$. Elektrolit ini dapat memisahkan Fe, Cu, Pb, Bi dan pengotor lainnya dengan pembentukan endapan sulfida yang tidak larut dan membentuk endapan lumpur.

Kelemahan dari elektrolit ini yaitu tingginya temperatur yang harus dipakai pada elektrolit selain itu tingginya temperatur ini dapat menguapkan larutan yang berbahaya jika sampai masuk dalam tubuh manusia. Selain itu tingkat kemurnian yang dihasilkan juga tidak terlalu tinggi dibanding elektrolit lainnya. Karena elektrolit tidak dapat menghilangkan Pb dan Bi dengan sempurna. Juga sulitnya katoda untuk dilelehkan kembali untuk proses pencetakan.

d. Elektrolit dari lelehan garam timah

Penggunaan lelehan garam ($\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl}$) dari logam timah dapat menggunakan beberapa variasi kualitas dari timah mentah anoda dengan kemurnian tidak terlalu tinggi yaitu Sn 75%. Elektroda berupa grafit dengan rapat arus $50-200 \text{ A/dm}^2$. Elektrolit lelehan garam dapat memisahkan arsenic dan antimony secara efisien. Tetapi memiliki kekurangan yaitu pembentukan lapisan pasif pada permukaan elektroda. Elektrolit jenis ini akan sangat efektif menghilangkan Pb sampai 25% Pb menjadi PbS dan membentuk lumpur. Logam Sn yang terdeposit di katoda lebih halus diandingkan dengan penggunaan elektrolit asam tanpa harus diberi aditif koloid. Tetapi rapat arus yang di pakai sangat kecil dan suhu proses tinggi yaitu 90°C .

2.6. Elektrolisis oleh PT. Timah Tbk

Proses *electrolytic refining* oleh PT. Timah Tbk dilakukan dalam bak sel elektrolisis yang berjumlah 5 unit. Rangkaian proses elektrolisis ini dimulai dengan mempersiapkan anoda, katoda dan cairan elektrolit yang dilakukan oleh unit kerja yang berbeda.^[9]

Preparasi anoda dilakukan dengan mencetak timah kasar (*crude tin*) hasil dari proses *smelting* yang dibentuk menyerupai baju dengan dimensi tertentu, yaitu dengan ketebalan 3 cm, panjang 100 cm, dengan lebar bagian atas 101 cm dan lebar bagian bawah 77 cm dengan massa 130 Kg. Perbedaan lebar antara bagian atas dan bagian bawah bertujuan agar katoda dapat tergantung pada bak sel serta memudahkan proses penirisan dan pembersihan anoda dari lumpur.

Sedangkan katoda dibuat dari 3% logam timah hasil *electrolytic refining* yang dibentuk menjadi lembaran tipis dengan panjang 100cm dan lebar 80 cm dengan massa sekitar 5-7 Kg yang nantinya akan digantung dengan menggunakan batangan tembaga.

Cairan elektrolit dibuat dengan *fluorosilicate acid*, *sulphuric acid* serta kristal *stannous sulphate* dan *stannous chloride* yang dilarutkan dengan air demineralisasi dalam *electrolyte mixing tank* dan selanjutnya dialirkan kedalam bak elektrolisis.

Setelah bak elektrolisis terisi dengan cairan elektrolit sampai batas yang ditentukan selanjutnya masukan anoda dan katoda. Selama proses ini akan muncul

kotoran seperti lumpur dipermukaan anoda yang dapat menghambat proses elektrolisis maka perlu dilakukan proses pembersihan secara berkala. Sementara itu ketebalan katoda yang semakin bertambah dapat mengurangi efisiensi proses elektrolisis, oleh sebab itu dalam satu periode proses ini katoda dapat diganti dua kali atau lebih.

3. Tinjauan pustaka

Siti Sopiha melakukan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis larutan CuSO_4 sebagai bahan kajian dalam pembuatan modul praktikum dan pembelajaran elektronik. Dalam penelitian ini, Siti Sopiha menyimpulkan bahwa efisiensi proses elektrolisis dipengaruhi oleh arus, waktu, suhu dan konsentrasi elektrolit, dimana semakin besar arus, waktu, suhu dan konsentrasi elektrolit maka hasil elektrolisis juga akan semakin besar.^[10]

Sugiyarta melakukan penelitian untuk melihat pengaruh konsentrasi larutan dan kuat arus terhadap ketebalan pada proses pelapisan nikel untuk baja karbon rendah. Dalam penelitiannya, Sugiyarta memvariasikan konsentrasi larutan dan kuat arus menjadi 3 varian yang berbeda dan diperoleh kesimpulan semakin tinggi konsentrasi larutan dan kuat arus maka hasil pelapisan semakin tebal. Ketebalan minimum diperoleh pada konsentrasi 1 pada arus 55 A yaitu $5,06 \mu\text{m}$ dan hasil pengukuran tertinggi pada konsentrasi 3 dengan arus 60 A ketebalan $23,26 \mu\text{m}$.^[11]

Danang meneliti pengaruh arus dan waktu pelapisan hard chrom terhadap ketebalan lapisan dan tingkat kekerasan mikro pada plat baja karbon rendah Aisi1026 dengan menggunakan CrO_3 250 gr/lit dan H_2SO_4 250 gr/lit pada proses elektroplating. Ia melakukan percobaan pada 4 variasi arus dan lama waktu pelapisan. Dalam penelitian ini, Danang menyimpulkan bahwa semakin arus meningkat maka nilai kekerasan mikro dan ketebalan yang didapat juga meningkat. Nilai kekerasan mikro tertinggi terjadi pada spesimen dengan kuat arus 2 A dengan variasi waktu 60 menit yaitu sebesar 455,93 VHN. sedangkan terendah terjadi pada spesimen dengan kuat arus 0,5 A dengan waktu pelapisan 30 menit yaitu sebesar 314,37 VHN. Nilai ketebalan tertinggi sebesar $4,033 \mu\text{m}$ yang terjadi pada spesimen dengan kuat arus 2 A dengan variasi waktu 50 menit dan nilai ketebalan terendah sebesar $1,200 \mu\text{m}$ didapatkan pada spesimen yang menggunakan kuat arus 0,5 A dengan waktu pelapisan 30 menit.^[12]

Tamas menyimpulkan *Electrorefining* dalam larutan HCl-SnCl_2 dapat dianggap sebagai metode yang fleksibel dan efisien untuk mengekstraksi timah murni.^[13]

Abdul aziz melakukan penelitian untuk mereduksi besi (Fe) menggunakan cairan elektrolit $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan 5 variasi pH dan 4 variasi tegangan listrik. Dari penelitian ini terlihat massa hasil elektrolisis pada variasi pH yaitu pH 2, pH 2,5, pH 3, pH 3,5 dan pH 4 adalah 0,09, 0,07, 0,02, 0,02 dan 0,02 gr. Sedangkan pada variasi tegangan yaitu 12 volt, 9 volt, 6 volt dan 3 volt adalah 0,14, 0,13, 0,10 dan 0,00 gr. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa semakin kecil pH larutan elektrolit dan semakin tinggi tegangan yang digunakan maka semakin besar massa produk yang dihasilkan.^[14]

Rahmat Gunawan melakukan studi efektifitas pada penurunan Kadmium (Cd) terhadap Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) dengan Metode Elektrolisis. Dalam penelitian ini pada saat jarak elektroda optimal pada 1cm dan laju pengadukan optimal pada 100 rpm, dilakukan penelitian dengan variasi tegangan yaitu 4,5, 6, 7,5, dan 9 Volt massa logam yang disisihkan adalah 0,971, 1,177, 1,66 dan 2,325 mg/L. hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan maka semakin besar massa produk yang dihasilkan.^[15]

Seong melakukan studi *Electro-Refining* timah dari limbah elektronik dengan larutan asam. Penelitian dilakukan dengan arus 3 dan 5 Ampere serta elektrolit yang berbeda seperti asam klorida, asam sulfat dan asam metansulfat. Seong Ho Son menyimpulkan bahwa efisiensi proses yang terbaik adalah pada arus 5 Ampere dan menggunakan elektrolit asam klorida dengan konsentrasi 0,2 mol/L.^[16]

Ricson Rinaldi melakukan penelitian untuk memisahkan emas pada motherboard komputer dengan metode elektrolisis. Ricson Rinaldi melakukan percobaan dengan menggunakan dua jenis cairan elektrolit yang berbeda yaitu NaHSO_3 dan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ dan memvariasikan tegangan yaitu 6, 9, dan 12 Volt. Hasil dari penelitian pada cairan elektrolit NaHSO_3 adalah 0,42 gr 0,62 gr 0,87 gr. Dan pada cairan elektrolit $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ adalah 0,5 gr 0,68 gr 0,97 gr. Dari penelitiannya ia menyimpulkan bahwa semakin besar tegangan maka hasil elektrolisis juga semakin besar.^[17]

Henny Mulyani melakukan penelitian untuk melihat pengaruh variasi arus dan waktu terhadap pembuatan serbuk timah putih (sn) melalui proses electrodeposisi. Ia membuat serbuk timah Sn dengan metoda elektrolisis menggunakan elektrolit SnSO_4 dengan konsentrasi 0,1 M dengan variasi besar arus (5 A, 6 A, dan 7 A) dan waktu proses (20 menit, 25 menit dan 30 menit). Kesimpulan dari penelitian ini adalah proses elektrolisis yang paling efektif adalah dengan besar arus 6 Ampere.^[18]

4. Metodologi penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Metode penelitian eksperimen merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang timbul dalam suatu penelitian.^[19]

4.1. Lokasi penelitian

Penelitian dirancang pada skala laboratorium dengan metode elektrolisis yang dilakukan di laboratorium Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, UNP. Penelitian ini berdasarkan metoda *Electrolytic Refining* di Unit Metalurgi PT. Timah Tbk. Muntok, Bangka Barat, Bangka Belitung.

4.2. Variabel Penelitian

Dalam penelitian terdapat variabel yang merupakan parameter yang terukur berbentuk apa saja yang ditetapkan untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian dari informasi yang diperoleh dapat ditarik kesimpulannya. Secara khusus variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.^[20] Variabel dalam penelitian ini yaitu:

4.2.1. Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri dari tegangan listrik yang divariasikan pada tiga variasi berbeda yaitu 6 V, 9 V dan 12 V, serta konsentrasi cairan elektrolit yang dibuat dengan lima variasi konsentrasi yang berbeda yaitu 0,001 M, 0,002 M, 0,003 M, 0,004 M dan 0,005 M.

4.2.2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi titik pusat penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil elektrolisis yaitu berat logam Sn yang tereduksi.

4.2.3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah faktor yang mempengaruhi hasil reaksi, tetapi dapat dikendalikan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini terdiri dari waktu elektrolisis dimana sekali periode elektrolisis diatur selama 60 menit, arus sebesar 5 Ampere, jarak antara anoda dan katoda yaitu 3 cm serta suhu elektrolisis adalah suhu ruangan.

4.3. Instrumen penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kompor, wajan, kaca arloji, batang pengaduk, *hot plate*, *magnetic stirrer*, gelas *beaker* 250 dan 100 mL, pipet tetes, labu ukur 150 dan 50 mL, kabel penghubung, anoda, katoda, sumber daya (adaptor), dan timbangan analitik. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timah solder dengan kandungan 60% Sn dan 40% Pb, bubuk *stannous chloride* (SnCl_2), HCl dan aquadest.

4.4. Preparasi sampel

Preparasi sampel yang nantinya digunakan sebagai anoda ini dilakukan dengan cara melebur timah solder dengan menggunakan wajan yang dipanaskan dengan kompor, kemudian lelehan timah dimasukkan kedalam cetakan yang terbuat dari karton manila dengan ukuran P x L x T yaitu 10 x 4 x 1 cm. setelah kembali mengeras sampel dipotong dengan ukuran yang sama untuk setiap percobaan.

4.5. Preparasi larutan elektrolit

Cairan elektrolit yang akan digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan melarutkan bubuk *stannous chloride*

(SnCl_2) menggunakan aquadest dan HCl. Untuk membuat larutan elektrolit, hal pertama yang dilakukan adalah menimbang bubuk SnCl_2 yang akan dilarutkan. Berat bubuk SnCl_2 yang dibutuhkan untuk membuat larutan dengan konsentrasi 0,001 M, 0,002 M, 0,003 M, 0,004 M dan 0,005 M dengan volume masing-masing 150 mL secara berturut-turut adalah 0,0285 gr, 0,0569 gr, 0,0854 gr, 0,1138 gr, 0,1423 gr.

Setelah mengetahui jumlah gram bubuk SnCl_2 yang dibutuhkan untuk membuat larutan pada masing-masing variasi konsentrasi, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan larutan elektrolit. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan larutan elektrolit adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang bubuk SnCl_2 sebanyak yang dibutuhkan. Untuk menimbang bubuk SnCl_2 , dilakukan dengan cara meletakkan bubuk SnCl_2 pada kaca arloji, pertama letakan kaca arloji pada plat timbangan, catat angka yang ditunjukkan timbangan yang merupakan berat dari kaca arloji, kemudian baru ditambahkan bubuk SnCl_2 hingga berat yang dibutuhkan.
- 2) Masukkan bubuk SnCl_2 ke dalam gelas *beaker* 250 mL dan tambahkan 10 tetes HCl menggunakan pipet tetes, kemudian tambahkan Aquadest hingga volume menjadi 100 mL. Aduk menggunakan batang pengaduk. Setelah tercampur rata masukan *magnetic stirrer* kedalam gelas beaker berisi larutan dan panaskan diatas *hot plate* pada suhu 125°C selama 30 menit.
- 3) Setelah bubuk SnCl_2 larut dan larutan dingin, pindahkan larutan kedalam labu ukur dengan kapasitas 150 mL. Tambahkan *aquadest* hingga hampir mencapai garis tanda tera. Kemudian tambahkan sedikit demi sedikit aquadest dengan menggunakan pipet tetes hingga mencapai tanda tera (cekung bawah). Selanjutnya bagi larutan menjadi tiga dan masukan ke dalam labu ukur dengan kapasitas 50 mL. sisihkan untuk digunakan pada proses elektrolisis.

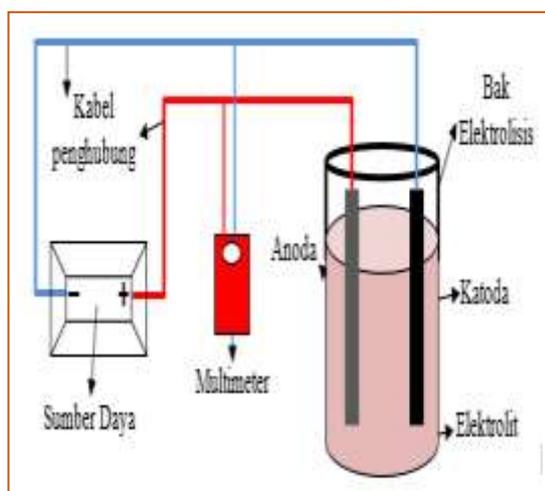


Gambar 1. Larutan Elektrolit

4.6. Proses elektrolisis

Proses elektrolisis pada penelitian bertujuan untuk mereduksi logam Sn yang terdapat pada timah solder. Katoda yang digunakan berupa lempengan logam timah, sedangkan anoda adalah timah solder yang dilelehkan dan dibentuk seperti batangan kecil. Arus listrik yang digunakan dialirkan dari power supply dalam kondisi konstan yaitu sebesar 5 A. Waktu yang digunakan adalah selama 60 menit. Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan SnCl₂.

Proses elektrolisis pada penelitian ini dilakukan pada dua tahap. Setiap tahapan proses yang dilakukan diulangi sebanyak tiga kali dengan variabel yang sama, hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Proses elektrolisis dilakukan dengan rangkaian alat yang disusun seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. Skema rangkaian alat proses elektrolisis

Pada percobaan pertama, isikan larutan dengan konsentrasi 0,001 ke dalam gelas *beaker* 100 mL yang akan menjadi bak elektrolisis. Kemudian susun anoda dan katoda yang telah dihubungkan ke sumber daya dengan tegangan 6 V. Setelah 60 menit, matikan sumber tegangannya dan kemudian angkat elektroda dari bak elektrolisis. Selanjutnya keringkan katoda yang telah terlapisi logam Sn yang berasal dari anoda dengan cara meletak di atas kertas *tissue* dan dibiarkan selama minimal 12 jam pada suhu ruang untuk kemudian dilakukan penimbangan. Lakukan langkah yang sama pada kondisi tegangan listrik sebesar 9 dan 12 Volt.

Setelah didapatkan nilai tegangan yang optimal pada percobaan sebelumnya barulah kemudian dilakukan percobaan dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit. Masing- masing percobaan dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.



Gambar 3. Proses pengeringan katoda

4.7. Penimbangan spesimen

Setelah katoda kering maka selanjutnya dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat logam yang tereduksi dan menempel di katoda.



Gambar 4. Proses penimbangan katoda

Berat timah yang menempel di katoda dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$W = W_1 - W_0 \quad (2)$$

Keterangan :

W = berat total (gr).

W₀ = berat katoda sebelum proses elektrolisis (gr).

W₁ = berat katoda setelah proses elektrolisis (gr).

5. Hasil dan pembahasan

5.1. Hasil

Proses elektrolisis pada penelitian dilakukan dalam bak elektrolisis yang merupakan gelas *beaker* dengan kapasitas 100 mL. Katoda berupa lempengan logam timah yang dipotong dengan ukuran yang menyesuaikan ukuran bak elektrolisis. Anoda merupakan timah solder yang dilelehkan dan dibentuk dengan ukuran yang menyesuaikan ukuran bak elektrolisis.

Kedua elektroda dihubungkan dengan kabel yang diberi penjepit agar memudahkan pemasangan elektroda.

Kabel penghubung memiliki warna yang berbeda, untuk menghindari kekeliruan saat pemasangan elektroda ke sumber arus. Arus listrik yang digunakan dialirkan dari *power supply* dalam kondisi konstan yaitu sebesar 5 A. Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan SnCl₂. Proses elektrolisis dilakukan selama 60 menit dan suhu sebelum proses elektrolisis dilakukan adalah suhu ruang.

Proses elektrolisis pada penelitian ini dilakukan pada dua tahap. Setiap tahapan proses yang dilakukan diulangi sebanyak tiga kali dengan variabel yang sama, hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Rangkaian alat pada proses elektrolisis dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Rangkaian alat elektrolisis

Tahap pertama merupakan elektrolisis dengan variasi tegangan pada konsentrasi terendah yaitu 0,001M. Hasil dari proses elektrolisis pada tahap pertama dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Hasil elektrolisis pada konsentrasi 0,001 M

6V x 0,001M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	32	2,912	2,961	0,049
Perc 2	26	33	3,04	3,067	0,027
Perc 3	26	33	2,918	2,97	0,052
Rata-rata	32,7		Rata-rata		0,043

9V x 0,001M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	33	3,02	3,109	0,09
Perc 2	26	33	2,698	2,792	0,094
Perc 3	26	32	2,706	2,788	0,082
Rata-rata	32,7		Rata-rata		0,089

12V x 0,001M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	34	2,735	2,845	0,111
Perc 2	26	34	3,088	3,213	0,125
Perc 3	26	34	2,698	2,818	0,119
Rata-rata	34		Rata-rata		0,118

Dari tabel di atas terlihat bahwa proses elektrolisis mengalami kenaikan suhu pada setiap prosesnya. Suhu yang dimaksud adalah suhu cairan elektrolit sebelum dan sesudah terjadi proses elektrolisis. Pada tabel terlihat cairan elektrolit mengalami kenaikan suhu rata-rata 7 hingga 8 °C.

Dari tabel juga terlihat bahwa massa katoda hasil dari proses elektrolisis mengalami kenaikan seiring dengan dinaikannya nilai tegangan. Massa rata-rata hasil elektrolisis pada variasi tegangan 6, 9 dan 12 volt secara berturut-turut adalah 0,4260 gram, 0,8825 gram, dan 0,1182 gram.

Dari data yang dipaparkan dapat diketahui bahwa proses elektrolisis yang optimal pada percobaan tahap pertama, adalah elektrolisis dengan menggunakan tegangan 12 Volt merupakan proses yang paling optimal sehingga pada proses elektrolisis tahapan kedua dilakukan pada tegangan 12 Volt dengan variasi konsentrasi 0,002 M hingga 0,0005 M. Hasil pada proses elektrolisis tahap 2 dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil elektrolisis pada tegangan 12 volt.

12V x 0,001M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	34	2,735	2,845	0,111
Perc 2	26	34	3,088	3,213	0,125
Perc 3	26	34	2,698	2,818	0,119
Rata-rata	34		Rata-rata		0,118

12V x 0,002M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	37	2,841	3,008	0,167
Perc 2	26	37	3,175	3,337	0,162
Perc 3	26	39	2,706	2,863	0,157
Rata-rata	37,7		Rata-rata		0,162

12V x 0,003M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	40	3,208	3,409	0,2
Perc 2	26	42	2,913	3,111	0,197
Perc 3	26	43	3,088	3,292	0,204
Rata-rata	41,7		Rata-rata		0,201

12V x 0,004M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	45	2,912	3,244	0,332
Perc 2	26	46	3,088	3,417	0,33
Perc 3	26	45	2,735	3,069	0,334
Rata-rata	45,3		Rata-rata		0,332

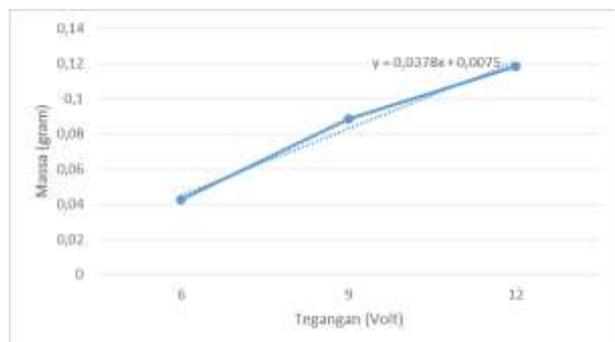
12V x 0,005M	Suhu (T ⁰ C)		Berat Katoda (gram)		
	T ₀	T ₁	W ₀	W ₁	W
Perc 1	26	52	2,912	3,302	0,396
Perc 2	26	52	2,843	3,266	0,423
Perc 3	26	54	2,835	3,263	0,428
Rata-rata	52,7		Rata-rata		0,416

Dari tabel di atas terlihat suhu proses elektrolisis mengalami kenaikan, dimana kenaikan suhu juga bertambah seiring kenaikan konsentrasi larutan elektrolit. Dari hasil yang disajikan pada tabel pada konsentrasi 0,001 M suhu mengalami kenaikan hingga 8^o, pada konsentrasi 0,002 M suhu mengalami kenaikan hingga 11^o, pada konsentrasi 0,003 M suhu mengalami kenaikan hingga 18^o, pada konsentrasi 0,004 M suhu mengalami kenaikan hingga 19^o, dan pada konsentrasi 0,005 M suhu mengalami kenaikan hingga 27^o.

Berat katoda hasil dari proses elektrolisis juga mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi larutan. Terlihat pada konsentrasi 0,001 M massa logam Sn hasil elektrolisis adalah 0,1182 gram, konsentrasi 0,002 M berat hasil elektrolisis adalah 0,162 gram, konsentrasi 0,003 M berat hasil elektrolisis adalah 0,2005 gram, konsentrasi 0,004 M berat hasil elektrolisis adalah 0,3318 gram, dan konsentrasi 0,005 M berat hasil elektrolisis adalah 0,4158 gram.

5.2. Pembahasan

Pada grafik di gambar 3 dapat dilihat hubungan antara tegangan dan massa dari logam Sn yang tereduksi.



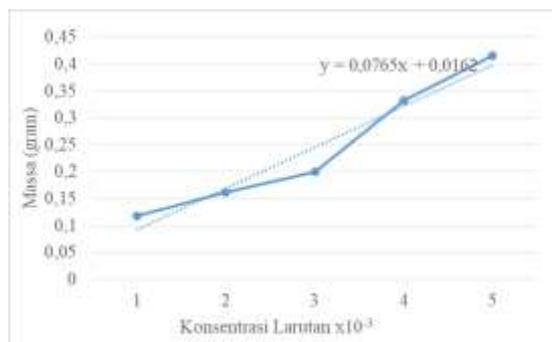
Gambar 6. Grafik hubungan Tegangan dan penambahan massa logam Sn.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa massa logam Sn yang tereduksi mengalami kenaikan seiring meningkatnya nilai tegangan pada proses elektrolisis. Hal tersebut membuktikan bahwa adanya pengaruh tegangan listrik atau voltase dalam proses elektrolisis. Voltase memberikan efek positif karena semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin besar logam yang tereduksi dan menempel pada katoda.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa kenaikan tegangan tidak menyebabkan pertambahan massa yang linear pada hasil proses elektrolisis. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor lain yang mempengaruhi elektrolisis. Berdasarkan proses elektrolisis pada tahap pertama diketahui bahwa tegangan yang optimal dalam proses elektrolisis pada konsentrasi 0,001 M adalah 12 Volt, sehingga pada proses elektrolisis selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan nilai konsentrasi yaitu pada nilai 0,002 M hingga 0,005 M.

Hasil elektrolisis dengan variasi konsentrasi larutan yang diberikan juga mengalami penambahan massa pada masing-masing sampel seperti yang terdapat pada tabel 2. Penambahan berat pada masing-masing katoda terjadi

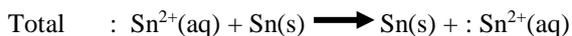
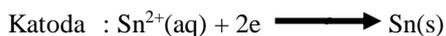
seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan yang digunakan, hal ini dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 7. Grafik hubungan konsentrasi dan penambahan massa logam Sn.

Hasil ini juga membuktikan bahwa konsentrasi larutan juga memiliki pengaruh dalam proses elektrolisis ini. Semakin tinggi nilai konsentrasi maka jumlah ion yang terdapat dalam larutan juga akan semakin banyak. Banyaknya jumlah ion ini juga akan meningkatkan atom yang terionisasi sehingga massa yang menempel pada katoda juga mengalami peningkatan. Namun sama halnya dengan penambahan nilai tegangan, kenaikan massa logam yang tereduksi tidaklah linear seperti penambahan nilai konsentrasi larutan elektrolit.

Adapun reaksi yang terjadi pada elektroda selama proses elektrolisis timah adalah sebagai berikut:



Pada persamaan di atas menunjukkan bahwa terjadi reaksi oksidasi yang terjadi pada spesimen anoda yaitu terbentuknya Sn²⁺(aq) yang larut dalam larutan elektrolit. Pada katoda menunjukkan terbentuknya endapan yang menempel pada katoda yang merupakan hasil reduksi dari hasil oksidasi yang terjadi di anoda yang larut dalam larutan elektrolit.

Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa hasil elektrolisis meningkat seiring bertambahnya nilai tegangan, hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Diantaranya penelitian oleh Ricson Rinaldi yang menyimpulkan bahwa hasil elektrolisis meningkat seiring bertambahnya nilai tegangan.^[17] Begitupun dengan bertambahnya nilai konsentrasi larutan elektrolit. Hal ini juga sesuai dengan kesimpulan yang diperoleh oleh Iryandi Anggriyawan dalam penelitiannya yang menyimpulkan bahwa hasil elektrolisis meningkat seiring dengan peningkatan nilai konsentrasi larutan elektrolit.^[20]

6. Penutup

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Tegangan listrik memiliki pengaruh terhadap massa logam yang tereduksi selama proses elektrolisis. Pada percobaan pertama untuk mencari tegangan optimal pada variabel konsentrasi 0,001 M, hasil elektrolisis pada variasi tegangan 6, 9, dan 12 Volt berturut-turut adalah 0,04257, 0,0885, dan 0,1182 gram. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan maka massa yang dihasilkan akan ikut meningkat dan tegangan yang sesuai untuk mengoptimalkan proses elektrolisis adalah pada tegangan 12 Volt.
- b. Pada percobaan kedua proses elektrolisis dilakukan pada tegangan 12 Volt dengan variasi nilai konsentrasi larutan elektrolit. Hasil elektrolisis pada variasi konsentrasi larutan elektrolit sebesar 0,001, 0,002, 0,003, 0,004 dan 0,005 M adalah 0,1182, 0,1620, 0,2005, 0,3318 dan 0,4158 gram. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi larutan elektrolit memiliki pengaruh terhadap massa logam yang tereduksi selama proses elektrolisis. Dimana semakin pekat konsentrasi larutan semakin besar pula massa logam yang tereduksi. Nilai konsentrasi larutan elektrolit yang sesuai untuk mengoptimalkan proses elektrolisis adalah dengan konsentrasi 0,005 M.

6.2. Saran

- a. Pada percobaan sebelumnya terlihat adanya perubahan warna dan perubahan suhu pada larutan elektrolit yang digunakan selama proses elektrolisis, untuk itu perlu dikaji lebih lanjut tentang penyebab terjadinya hal ini.
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan variabel yang sama namun pada nilai yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
- c. Perlu dilakukan penelitian tentang elektrolisis timah dengan menggunakan faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses elektrolisis sebagai variabel dalam penelitian.

Daftar pustaka

- [1] C.L. Mantell, (1949), TIN, Its Mining Production Technology and Application, Reinhold Publishing Corporation, USA.
- [2] Sutedjo Sujitno, (1996), Sejarah Timah di Indonesia, Gramedia Pustaka Utama, Indonesia.
- [3],2019., (2019). Annual Report PT. Timah (Persero) Tbk. 2019. PT. Timah (Persero) Tbk. Pangkal Pinang.
- [4],2009., (2009). Annual Report PT. Timah (Persero) Tbk. 2009. PT. Timah (Persero) Tbk. Pangkal Pinang.

- [5] Dogra, S. K., dan Dogra S., (1990), Kimia Fisik Dan Soal-Soal, Alih Bahasa Mansyur , U., UI-Press, Jakarta, 511-532.
- [6] Chang Raymond, (2006), “Kimia Dasar Edisi Ketiga Jilid 2”, Penerbit Erlangga, Jakarta. Iryandi Angriyawan, (2011), “Pengaruh Tegangan Listrik dan Konsentrasi Terhadap Efektivitas Elektrolisis Plasma pada Larutan Elektrolit KOH-Methanol”, Universitas Indonesia, Depok.
- [7] Petrucci, R. H., (1999), Kimia Dasar, Alih Bahasa Achmadi, S., Erlangga, Jakarta. Hlm 31-35.
- [8] Mulyono HAM., (2005), Membuat Reagen Kimia Di Laboratorium, Bumi Aksara, Jakarta.
- [9] Work Instruction From Electrolytic Refining PT. Timah (Persero) Tbk. (2017).
- [10] Siti Sopiah (2008), “Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO₄ Sebagai Bahan Kajian Dalam Pembuatan Modul Praktikum Dan Pembelajaran Elektronik”, ITB, Bandung.
- [11] Sugiyarta, (2012), “Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan pada Proses Pelapisan Nikel Untuk Baja Karbon Rendah”, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [12] Danang Tarwijayanto, (2013), “Pengaruh Arus dan Waktu Pelapisan Hard Chrom Terhadap Ketebalan Lapisan dan Tingkat Kekerasan Mikro pada Plat Baja Karbon Rendah Aisi1026 dengan Menggunakan CrO₃ 250gr/lit dan H₂SO₄ 250gr/lit pada Proses Elektroplating”, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [13] Tamas Kekesi, (2013), “Electrorefining In Aqueous Chloride Media For Recovering Tin From Waste Materials”, Acta Metallurgica Slovaca, (Nomor 3 volume 19). Hlm 196-205.
- [14] Abdul Aziz, (2015), “Pengaruh pH dan Tegangan Listrik Dalam Elektrolisis Limbah Padat Baja (Slag Eaf) Sebagai Upaya Mereduksi Kandungan Logam Fe pada Limbah Padat Industri Galvanis”, Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang.
- [15] Rahmat Gunawan, (2015), “Studi Efektifitas pada Penurunan Kadmium (Cd) terhadap Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) dengan Metode Elektrolisis”, Universitas Mulawarman, Samarinda.
- [16] Seong Ho Son, (2015), “Study On The Electro-Refining Of Tin In Acid Solution From Electronic Waste”, Archives Of Metallurgy And Materials, (Nomor 2 volume 30). Hlm 1217-1220.
- [17] Ricson Rinaldi, (2017), “Pemisahan Emas pada Motherboard Komputer Dengan Metode Elektrolisis”, Universitas Riau, Pekanbaru.
- [18] R. Henny Mulyani, (2019) “Pengaruh Variasi Arus dan Waktu terhadap Pembuatan Serbuk Timah Putih (Sn) melalui Proses Elektrodeposisi”, Jurnal Kartika Kimia. 2 (1). Hlm 7-16 .
- [19] Arikunto Suharsimi, (2006), Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, Rineka Cipta, Jakarta.
- [20] Iryandi Angriyawan, (2011), “Pengaruh Tegangan Listrik dan Konsentrasi Terhadap Efektivitas Elektrolisis Plasma pada Larutan Elektrolit KOH-Methanol”, Universitas Indonesia, Depok.