

**STUDI *ELECTROCHEMICAL ANALYSIS* LANTANUM (III) KLORIDA
HEPTAHIDRAT 98% DIBAWAH PENGARUH MEDAN MAGNET DAN
PENGAPLIKASIANNYA SEBAGAI ADITIF MAGNETO-
ELEKTRODEPOSISI LOGAM KROM**

(Tesis)

Oleh

**ARIFO GUNAWAN CAHYANEGORO
NPM 1925021001**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**STUDI *ELECTROCHEMICAL ANALYSIS* LANTANUM (III) KLORIDA
HEPTAHIDRAT 98% DIBAWAH PENGARUH MEDAN MAGNET DAN
PENGAPLIKASIANNYA SEBAGAI ADITIF MAGNETO-
ELEKTRODEPOSISI LOGAM KROM**

Oleh

ARIFO GUNAWAN CAHYANEGORO

TESIS

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

MAGISTER TEKNIK

PADA

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

STUDI *ELECTROCHEMICAL ANALYSIS* LANTANUM (III) KLORIDA HEPTAHIDRAT 98% DIBAWAH PENGARUH MEDAN MAGNET DAN PENGAPLIKASIANNYA SEBAGAI ADITIF MAGNETO-ELEKTRODEPOSISI LOGAM KROM

Oleh

ARIFO GUNAWAN CAHYANEGORO

Lantanum merupakan golongan tanah jarang yang semakin dibutuhkan untuk berbagai aplikasi. Dalam penelitian ini kami melakukan analisis elektrodeposisi pada Lantanum (III) Klorida Heptahidrat dengan pengaruh medan magnet. Teknik analisis elektrokimia yang digunakan adalah *linear sweep voltametry* (LSV) dan *Chronoamperometry* (CA). LSV digunakan untuk mengukur arus maksimum (*limiting current*). Untuk menentukan arus maksimum, hasil LSV harus diplot dalam plot tafel. Tafel yang dihasilkan dari LSV adalah potensial elektroda (mV) dengan logaritma rapat arus ($\text{Log } i_L (\text{A}\cdot\text{cm}^{-2})$). Koefisien difusi dari spesies elektroaktif ditentukan dengan menggunakan *Chronoamperometry* (CA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh peningkatan luas elektroda kerja (A), kuat medan magnet (B), dan konsentrasi elektroaktif (C) memberikan peningkatan tertentu pada *limiting current*. Sedangkan penambahan viskositas larutan (ν) dan koefisien difusi (D) akan menurunkan nilai *limiting current* untuk elektrodeposisi lantanum. Penelitian ini juga melakukan proses pelapisan krom dengan aditif Lantanum (III) klorida heptahidrat 98% yang telah dipelajari sebelumnya, didapatkan hasil proses pelapisan menggunakan medan magnet yang dihasilkan lebih seragam; lebih tebal; lebih kompak; dan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan pelapisan tanpa medan magnet.

Kata kunci: Lantanum, Magneto-Elektrodeposisi, *Limiting Current*, *Linear Sweep Voltammetry*; *Chronoamperometry*

ABSTRACT

STUDY OF ELECTROCHEMICAL ANALYSIS OF LANTANUM (III) CHLORIDE HEPTAHYDRATE 98% UNDER THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD AND ITS APPLICATION AS A MAGNETO- ELECTRODEPOSITION ADDITIVE OF CHROME METALS

By

ARIFO GUNAWAN CAHYANEGORO

Lanthanum is a rare earth group that is increasingly needed for a variety of applications. In this study, we performed an electrodeposition analysis on Lanthanum (III) Chloride Heptahidase under the influence of a magnetic field.. Electrochemical analysis techniques used are linear sweep voltammetry (LSV) and Chronoamperometry (CA). LSV is used to measure the maximum current (limiting current). To determine the maximum current, the result of the LSV must be plotted in a tafel plot. Tafel generated from LSV is the electrode potential (mV) with the logarithm of the current density ($\text{Log } i_L (\text{A}\cdot\text{cm}^{-2})$). The diffusion coefficient of the electroactive species was determined using chronoamperometry (CA). The results showed that the effect of increasing the working electrode area (A), magnetic field strength (B), and electroactive concentration (C) gave a certain increase in limiting current. Meanwhile, the addition of solution viscosity (ν) and diffusion coefficient (D) will reduce the limiting current value for lanthanum electrodeposition. This study also carried out a chrom-plating process with the addition of Lanthanum (III) Chloride Heptahydrate 98% which was studied previously, it was found that the plating process using magnetic field produced a more uniform; thicker; more compact, and more mass deposit with higher hardness value.

Keywords: Lanthanum; Magneto-Electrodeposition; Limiting Current, Linear Sweep Voltammetry; Chronoamperometry

Judul Tesis : Studi *Electrochemical Analysis* Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98% Dibawah Pengaruh Medan Magnet dan Pengaplikasiannya Sebagai Aditif Magneto-Elektrodeposisi Logam Krom

Nama Mahasiswa : Arifo Gunawan Cahyanegoro

Nomor Pokok Mahasiswa : 1925021001

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Prof. Moh. Badaruddin, M.T., Ph.D.

NIP 197212111998031002

Pembimbing II



Dr. Sudibvo, S.T., M.Sc.

NIP 198203272015021002

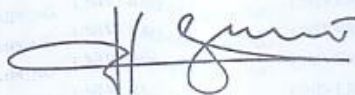
Pembimbing III



Prof. Dr. Sugivanto, M.T.

NIP 195704111986101001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.

NIP. 197108171998021003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Moh. Badaruddin, M.T, Ph.D.

Wakil Ketua : Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.

Sekretaris : Prof. Dr. Sugivanto, M.T.

Penguji Utama I : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met

Penguji Utama II : Dr. Gusri. Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D. IPU. ASEAN. Eng.

NIP. 196207171987031002

3. Direktur Pasca Sarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T

NIP. 197104151998031005

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 22 November 2021

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini dalam keadaan sehat dan tanpa terpaksa, menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi. Serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini sebagaimana diatur pada Pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Peraturan Rektor No. 13 Tahun 2019.

Bandar Lampung, 22 November 2021

Yang Membuat Pernyataan,



Arifo Gunawan Cahyanegoro

NPM. 1925021001

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir pada 21 Oktober 1996 di Kota Tangerang sebagai anak pertama dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Bummat Pasaribu dan Ibu Sukarni. Saat tulisan ini dibuat, penulis sudah menjadi suami dari Ibu Citra Adelina. Penulis menikah pada 21 November 2020 dan saat ini hendak menjadi seorang ayah.

Penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Tangerang pada tahun 2014, kemudian melanjutkan pendidikan tinggi dan lulus pada tahun 2018. Penulis mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, dari jurusan Teknik Metalurgi. Topik tugas akhir skripsi penulis yaitu *Electrometal Electrowinning* Logam Nikel, yang mana merupakan proses pengolahan logam melalui jalur hidrometalurgi.

Sejak tahun 2018 penulis bekerja di PT South East Asia Pipe Industries sebagai *Quality Engineer* dan Supervisor Laboratorium. Penulis juga terlibat aktif dalam Asosiasi Profesi Metalurgi Indonesia sebagai staf bidang manufaktur. Penulis kemudian melanjutkan studi ke jenjang pascasarjana di Universitas Lampung. Penulis mengambil jurusan Teknik Mesin dengan konsentrasi Rekayasa Material. Berbekal latar belakang saat sarjana, penulis kemudian mengambil topik tesis di proses pengolahan logam dengan metode *magneto-electrodeposition*.

Teruntuk Kedua Orangtua, Bapak Bummat Pasaribu dan Ibu Sukarni

dan

Teruntuk Istri tercinta Citra Adelina

*“Other things may change us, but we start and end
with the family.” -Anthony Brandt*

SANWACANA

Penulis mengucapkan syukur Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat anugerah-Nya, tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis dengan judul “Studi *Electrochemical Analysis* Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98% Dibawah Pengaruh Medan Magnet dan Pengaplikasiannya Sebagai Aditif Magneto-Elektrodeposisi Logam Krom” adalah salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan yang berbahagia ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. Selaku Ketua Pascasarjana Magister Teknik Mesin;
4. Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., selaku pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
5. Dr. Sudibyoo., S.T., M.Sc., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;

6. Prof. Dr. Sugiyanto, M.T., selaku pembimbing ketiga yang telah memberikan saran-saran guna perbaikan yang lebih baik;
7. Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met., selaku penguji dan pembahas pada ujian tesis atas semua saran dan masukkan beliau;
8. Dr. Eng. Widi Astuti, M.T., selaku Kepala Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI, yang telah memberikan ijin serta tempat untuk melakukan penelitian tesis;
9. Seluruh Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staf administrasi Jurusan Magister Teknik Mesin Universitas Lampung atas ilmu serta pengalaman yang luar biasa selama perkuliahan;
10. Serta semua pihak yang telah membantu di dalam penyelesaian tesis ini mulai dari penelitian hingga penulisan naskah yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 22 November 2021

Arifo Gnawan Cahyanegoro

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2. 1. Lantanum	8
2. 2. Proses Pengolahan Logam	9
2. 3. Elektrodeposisi.....	11
2.3.1. Elektrodeposisi Konvensional	11
2.3.2. Magneto-Elektrodeposisi (MED)	11
2. 4. Perpindahan Masa Pada MED	14
2. 5. Pengujian	16
2.5.1. Komposisi kimia <i>X-ray fluorescence (X-RF)</i>	16
2.5.2. Kristalografi (<i>X-ray Diffraction</i>)	17
2.5.3. <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	18

2.5.4.	Kekerasan Mikro (<i>Vickers</i>).....	19
2. 6.	MED Pada Timah	21
III.	METODE PENELITIAN.....	26
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.2.	Alat dan Bahan.....	26
3.2.1	Alat Yang Digunakan	26
3.2.2	Bahan Yang Digunakan	28
3.3.	Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.4.	Pelaksanaan Pengujian.....	33
IV.	PEMBAHASAN	36
4.1.	Karakterisasi Awal.....	36
4.2.	Hasil Proses MED Lantanum (III) Klorida Heptahidrat Untuk Analisis <i>Limiting Current</i>	38
4.2.1.	Pengaruh Kuat Medan Magnet Terhadap <i>Limiting Current</i>	38
4.2.2.	Pengaruh Konsentrasi Lantanum (III) Klorida Heptahidrat Terhadap <i>Limiting Current</i>	40
4.2.3.	Pengaruh Luas Elektroda Kerja Terhadap <i>Limiting Current</i> ...	42
4.2.4.	Pengaruh Elektrolit Pembantu Terhadap <i>Limiting Current</i>	43
4.3.	Pengaruh Kuat Medan Magnet terhadap Lapisan Hasil Proses MED	47
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1.	Kesimpulan	58
5.2.	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	60
	Lampiran 1. Bukti International Symposium dan Draft Manuscript	64
	Lampiran 2. Bukti <i>Submitted Jurnal</i>	65
	Lampiran 3. Hasil Kekerasan <i>Plating</i> Dengan Medan Magnet	66
	Lampiran 4. Hasil Kekerasan <i>Plating</i> Tanpa Medan Magnet.....	69
	Lampiran 5. Hasil SEM EDX <i>Plating</i> Dengan Medan Magnet.....	72
	Lampiran 6. Hasil SEM EDX <i>Plating</i> Tanpa Medan Magnet	76
	Lampiran 7. Hasil XRF $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Kandungan Mineral Logam Tanah Jarang di Provinsi Sulawesi (Kementerian ESDM, 2019)	1
Gambar 2. Tabel Susunan Berkala (Ratmi dkk, 2011)	8
Gambar 3. Contoh Skematik Pengolahan Ekstraksi Logam (Sudibyo, 2020)	10
Gambar 4. Konfigurasi Dipol dengan (a) Tidak Adanya dan (b) Adanya Medan Magnet (Buschow, K.H.J, 2014).....	12
Gambar 5. Plot Tafel pada MED Timah. $[\text{SnSO}_4] = 0,025 \text{ M}$; $0,5 \text{ cm}^2$ elektroda kerja, dan kuat medan magnet 0,3 T. (Sudibyo, 2010)	15
Gambar 6. Bekas indentasi (a). lekukan sempurna, (b). Lekukan bantal jarum, dan (c). Lekukan tong.	21
Gambar 7. Hasil SEM Pada Kuat Medan Magnet 0 T (Uzir, M.H., 2015).....	22
Gambar 8. Hasil SEM Pada Kuat Medan Magnet 0,3 T (Uzir, M.H., 2015).....	22
Gambar 9. Grafik antara <i>Limiting Current</i> dengan Kuat Medan Magnet (Sudibyo dkk, 2009)	23
Gambar 10. Grafik antara <i>Limiting Current</i> dengan konsentrasi SnSO_4 (Sudibyo dkk, 2009)	24
Gambar 11. Grafik antara <i>Limiting Current</i> dengan Luas Elektroda (Sudibyo dkk, 2009)	24
Gambar 12. Mesin <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	26
Gambar 13. Mesin <i>X-Ray Powder Diffraction</i>	27
Gambar 14. Mesin <i>X-Ray Fluorescence</i>	28
Gambar 15. (a) Mesin <i>Microvickers</i> (b) Stiker Kalibrasi <i>Microvickers</i>	28
Gambar 16. Skematik Rangkaian Alat Penelitian MED Lantanum.....	29
Gambar 17. Hasil XRD Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98%	37
Gambar 18. Elektroda Yang Digunakan Untuk Analisis <i>Limiting Current</i>	38

Gambar 19. Pengaruh Kuat Medan Magnet Terhadap <i>Limiting Current</i>	39
Gambar 20. Pengaruh Medan Magnet Terhadap <i>Limiting Current</i> Pada MED Timah	40
Gambar 21. Pengaruh Konsentrasi $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Terhadap <i>Limiting Current</i>	41
Gambar 22. Pengaruh Konsentrasi SnSO_4 Terhadap <i>Limiting Current</i> MED Timah	41
Gambar 23. Pengaruh Luas Elektroda Kerja Terhadap <i>Limiting Current</i>	42
Gambar 24. Pengaruh Luas Elektroda Kerja Terhadap <i>Limiting Current</i> MED Timah	43
Gambar 25. Contoh Grafik Cottrel-Plot Pada Percobaan Variasi H_2SO_4	45
Gambar 26. Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Terhadap <i>Limiting Current</i>	46
Gambar 27. Citra elektron hamburan balik SEM permukaan yang diberi perlakuan: (a) larutan Ce_2 —30 s—5 A/cm^2 ; (b) larutan Ce_2 —60 s—5 A/cm^2 ; (c) larutan Ce_2 —120 s—5 A/cm^2 ; (d) larutan Ce_2 —60 s—8 A/cm^2	48
Gambar 28. Katoda Hasil Deposisi dan Setelah <i>Mounting</i> Tampak Melintang ...	49
Gambar 29. (a) Hasil SEM Pelapisan Tanpa Medan Magnet Perbesaran 5000x dan (b) Hasil SEM Pelapisan Dengan Medan Magnet Perbesaran 5000x	50
Gambar 30. Persebaran Unsur Hasil Deposisi Tanpa Pengaruh Medan Magnet..	51
Gambar 31. Persebaran Unsur Hasil Deposisi Dengan Pengaruh Medan Magnet	52
Gambar 32. Hasil Visualisasi tiap unsur hasil EDX dengan Pengaruh Medan Magnet	54
Gambar 33. Hasil <i>Microvickers</i> Deposit Tanpa Pengaruh Medan Magnet	55
Gambar 34. Hasil <i>Microvickers</i> Deposit Dengan Pengaruh Medan Magnet (Magneto-Electrodeposition)	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Rancangan Percobaan <i>Dependence C</i>	31
Tabel 2. Rancangan Percobaan <i>Dependence B</i>	31
Tabel 3. Rancangan Percobaan <i>Dependence A</i>	31
Tabel 4. Rancangan Percobaan <i>Dependence D</i> dan v	32
Tabel 5. Hasil XRF Bahan Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98%	36
Tabel 6. Contoh Hasil Percobaan Elektrolit Pembantu (H_2SO_4) Run-1	44
Tabel 7. Pengaruh <i>Supporting Electrolytes</i> Pada D , v , dan i_B	47
Tabel 8. Pengaruh <i>Supporting Electrolytes</i> Pada MED Timah.....	47
Tabel 9. Data Pengukuran Lapisan	50
Tabel 10. Komposisi Kimia Hasil Analisa EDX Deposit	51
Tabel 11. Referensi Konsentrasi Katalis $LaCl_3 \cdot 7H_2O$ Yang Digunakan (Wang, 2013)	53

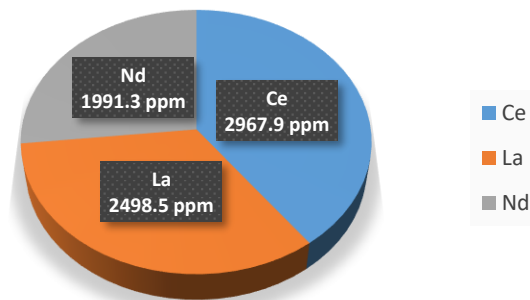
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Bukti International Symposium dan Draft Manuscript	64
Lampiran 2. Bukti <i>Submitted Jurnal</i>	65
Lampiran 3. Hasil Kekerasan <i>Plating</i> Dengan Medan Magnet	66
Lampiran 4. Hasil Kekerasan <i>Plating</i> Tanpa Medan Magnet	69
Lampiran 5. Hasil SEM EDX <i>Plating</i> Dengan Medan Magnet	72
Lampiran 6. Hasil SEM EDX <i>Plating</i> Tanpa Medan Magnet	76
Lampiran 7. Hasil XRF $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	80

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan mineral Logam Tanah Jarang (Rare Earth Element/ REE) di dunia akhir-akhir ini meningkat sangat tajam. Hal ini dikarenakan REE menjadi komoditi yang sangat strategis bagi kemajuan teknologi masa depan. Secara signifikan, kehadiran komoditi REE mampu menyumbang dalam peningkatan teknologi modern yang ada disekitar kita, seperti telepon selular, komputer, baterai isi ulang, magnet, lampu fluoresen dan peralatan elektronik lainnya untuk keperluan sipil maupun militer (Kementerian ESDM RI, 2019).



Gambar 1. Kandungan Mineral Logam Tanah Jarang di Provinsi Sulawesi
(Kementerian ESDM, 2019)

Di Indonesia REE banyak ditemukan di Provinsi Sulawesi. Salah satu penyelidikan terbaru dilakukan pada tahun 2018 mengenai keterdapatan logam tanah jarang di Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat. Untuk mengetahui kandungan logam tanah jarang, dalam penyelidikan ini dilakukan pengambilan sampel berupa batuan, tanah dan konsentrat dulang. Dari hasil data tersebut kandungan logam tanah jarang (Gambar 1) di

daerah ini yang paling tinggi kadarnya adalah cerium (Ce) 2967,9 ppm, lantanum (La) 2498,5 ppm dan neodimium (Nd) 1991,3 ppm (Kementerian ESDM RI, 2019).

Lantanum termasuk kelompok tanah jarang yang berupa logam putih kebiruan yang lunak. Logam ini ditemukan pada tahun 1893 dan merupakan salah satu unsur logam transisi golongan III B yang terdapat dalam deret unsur lantanida. Cadangan/ resources lantanum lebih melimpah daripada emas maupun platina dan selalu terdapat diantara produk pembelahan uranium, torium dan plutonium. Logam lantanum banyak digunakan sebagai bahan layar sinar-x, lensa gelas, fiber optik, baterai kapasitor, dan keramik (Ratmi dkk, 2011). Apabila dikemudian hari lantanum dapat lebih *stablish* digunakan, Indonesia kedepannya berpotensi menjadi pengolah logam berbasis mineral tanah jarang di dunia. Karena sejak tahun 2014, dengan diterbitkannya Permen ESDM No 1 (diperbaharui dengan Permen ESDM No 25 tahun 2018) peraturan-peraturan mengenai pemanfaatan REE yang harus dioptimalkan didalam negeri semakin masif, menjadikan penelitian untuk pengolahan dengan lantanum ini semakin penting untuk dilakukan (Pemen ESDM, 2018).

Elektrodeposisi merupakan proses pendeposisian logam dengan menggunakan arus DC secara elektrolisis. Elektrodeposisi memiliki masalah utama yaitu kekasaran pada lapisan yang dihasilkan (pertumbuhan kristal yang tidak seragam) (Uzir, M.H dkk, 2015). Adapun magneto elektodeposisi (MED), yaitu proses pelapisan yang dilakukan dalam pengaruh medan magnet magnet. Dengan adanya medan magnet memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan fraktal atau morfologi deposit yang dihasilkan. Adanya medan magnet meghasilkan peningkatan terhadap *limiting current* dan pertumbuhan yang

seragam serta permukaan deposisi logam yang lebih seragam. (Levesque et al, 2009; Tschulik et al, 2009; Koza et al, 2010).

Limiting current merupakan arus maksimum yang dapat diperoleh oleh reaksi elektroda dalam konsentrasi reaktan dengan adanya *supporting electrolyte* yang besar (Levich, V. G, 1962). Dengan adanya arah medan magnet yang seragam dapat menghasilkan nilai *limiting current* yang baik. Selain pengaruh medan magnet, pengaruh luas area elektroda, konsentrasi spesies elektroaktif, *kinematic viscosity* elektrolit, koefisien difusi spesies elektroaktif, dan jumlah elektron yang terlibat dalam proses redoks juga berpengaruh terhadap hasil elektrodeposisi. Jika dibandingkan dengan proses elektrodeposisi konvensional, teknologi MED lebih mudah karena dapat dilakukan dengan temperatur ruang (Fernanda, 2005).

Variabel-variabel yang dapat mempengaruhi proses MED antara lain yakni luas area elektroda (A), konsentrasi elektron-aktif (C), kinematik viskositas elektrolit (V), koefisien difusi (D), dan besar kuat medan magnet (B). Maka dari itu perlu dilakukan studi proses MED pada lantanum dibawah pengaruh dari medan magnet, luas elektroda kerja, dan konsentrasi elektron-aktif. Variabel tersebut dipilih karena kuat medan magnet dapat meningkatkan laju perpindahan massa pada elektroda akibat efek Magnetohidrodinamik (MHD) dan meningkatkan *limiting current*. Lalu, luas elektroda diamati karena semakin luas elektroda kerja akan menyebabkan area pengadukan magnetik yang lebih efektif di area difusi sehingga meningkatkan laju pengendapan. Sementara konsentrasi elektroaktif dari lantanum diamati karena dapat menyebabkan

pengadukan magnetik lebih efektif jika konsentrasi elektroaktif semakin tinggi, sehingga nilai *limiting current* meningkat (Sudibyodkk, 2009).

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh luas area elektroda (A), konsentrasi spesies elektroaktif (C), kinematik viskositas elektrolit (V), koefisien difusi spesies elektroaktif (D), dan besar kuat medan magnet (B) pada MED lantanum dari Lantanum (III) Klorida Heptahidrat.
2. Untuk mengetahui pengaruh medan magnet pada hasil morfologi pengamatan *Scanning Electron Microscope* (SEM), pada MED krom dengan tambahan aditif Lantanum (III) Klorida Heptahidrat yang telah diteliti sebelumnya.
3. Untuk mengetahui nilai kekerasan dari deposit yang dihasilkan pada MED Krom, dengan tambahan aditif Lantanum (III) Klorida Heptahidrat.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sampel lantanum yang digunakan ialah Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98%.
2. Melakukan proses *electrochemical analysis* Lantanum (III) Klorida Heptahidrat dengan parameter proses sebagai berikut:
 - a. Kuat medan magnet 0, 200, 400, 600, dan 800 Gauss
 - b. Elektroda yang digunakan yaitu platinum (Pt) dan Ag/AgCl (1 M KCl).
 - c. Variasi luas area elektroda 0,081; 0,238; 0,395; dan 0,552 cm²
 - d. Variasi konsentrasi H₂SO₄ 1, 2, 3, 4, dan 5 M

- e. Variasi konsentrasi Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98% yakni 0,025; 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2 M
 - f. Tegangan +2 sampai -2 V dengan laju 10 Mv/s
 - g. Volume larutan elektrolit 75 mL
 - h. Penelitian dilaksanakan pada temperatur ruang
3. Karakterisasi awal dilakukan dengan X-Ray Fluorescence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD).
 4. Melakukan proses MED untuk Analisa Struktur Endapan dan Kekerasan Pada Larutan Krom Sulfat dengan Aditif Lantanum (III) Klorida Heptahidrat, dengan parameter sebagai berikut:
 - a. Komposisi Krom yang digunakan adalah *Chrome Acid* 250 gram/liter dilarutkan dalam H₂SO₄ 2%.
 - b. Aditif Lantanum (III) Klorida Heptahidrat dengan konsentrasi 1 gram/liter.
 - c. Menggunakan elektroda *mild-steel*
 - d. Melakukan proses MED, dengan: Arus 15 Ampere, Waktu 13 menit, Medan magnet 0 dan 800 Gauss.
 - e. Analisa sampel hasil elektrodeposisi pada pengaruh kuat medan dan tanpa medan magnet menggunakan SEM/ SEM-EDX dan uji mekanis *micro-vickers* (HV).

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini dibagi ke dalam bab dan sub bab sebagai berikut:

I Pendahuluan

Pendahuluan berisikan tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada penelitian ini berisikan tentang sumber-sumber pustaka yang digunakan sebagai acuan di dalam melaksanakan penelitian baik pada saat percobaan di lapangan maupun analisa dan pembahasan.

III Metode Penelitian

Metode penelitian menyajikan mekanisme tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan, alat-alat yang digunakan berikut mekanisme pengujian yang dilakukan.

IV Pembahasan

Kemudian Bab IV berisi pembahasan yang akan membahas pengaruh dari luas area elektroda (A), konsentrasi spesies elektroaktif (C), kinematik viskositas elektrolit (V), koefisien difusi spesies elektroaktif (D), dan kuat medan magnet (B) terhadap proses MED. Serta hasil analisis SEM dan Microvickers pada hasil deposit dengan pengaruh medan magnet dan tanpa medan magnet.

V Kesimpulan dan Saran

Berisikan tentang kesimpulan dari hasil data penelitian yang diperoleh serta saran untuk penelitian lanjutan kedepannya.

Daftar Pustaka

Daftar pustaka berisi semua pustaka yang digunakan di dalam penulisan naskah

II. TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Lantanum

Lantanum termasuk kelompok tanah jarang yang berupa logam putih kebiruan yang lunak. Cadangan logam ini lebih melimpah daripada emas maupun platina, yang mana juga selalu terdapat diantara produk pembelahan uranium; torium; dan plutonium. Logam lantanum ini banyak ditemukan di alam pada mineral-mineral seperti *apatite*, *monazite*, *calsit*, dan *fluorspar*. Lantanum banyak diaplikasikan dan bermanfaat sebagai bahan layar sinar-x, lensa gelas, serta fiber keramik. (Ratmi dkk, 2011)

H	LOGAM TANAH JARANG BERAT RINGAN																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
Lanthanides																	
La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																	
Actinides																	
Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																	

Gambar 2. Tabel Susunan Berkala (Ratmi dkk, 2011)

Lantanum disimbolkan dengan La, mempunyai nomor atom 57, tingkat oksidasinya adalah +2 dan +3, dan merupakan salah satu unsur logam transisi golongan III B yang terdapat dalam deret unsur lantanida (lihat gambar 2). Sifat-sifat fisik lantanum antara

lain meleleh pada suhu 1191 K, titik dididh 3737 K, berat jenis 6,1545 g/cm³. Tampang lintang (cross-section) lantanum sebesar $9,2 \pm 0,3$ barn (Thomsen, 2010).

2. 2. Proses Pengolahan Logam

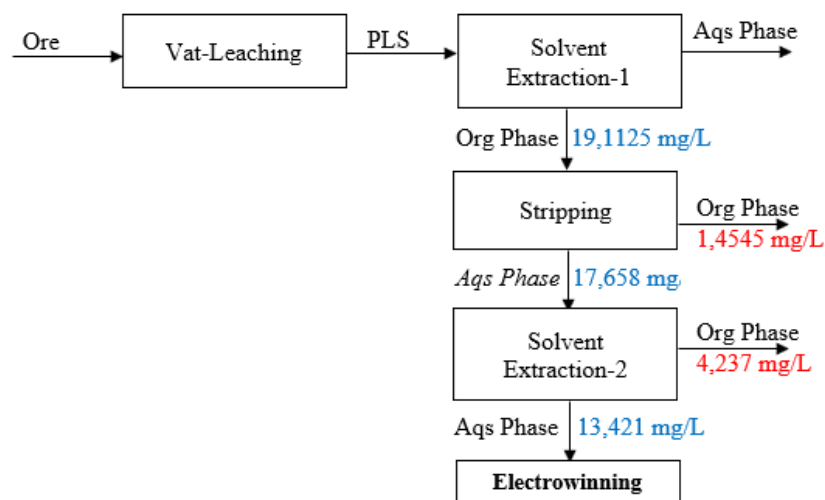
Sebagai komoditi yang memiliki peran penting bagi Indonesia, pengolahan logam menjadi salah satu perhatian utama. Proses metalurgi untuk mengolah logam terbagi menjadi dua jalur; pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pirometalurgi merupakan proses peleburan logam yang dilakukan pada suhu relatif tinggi, sedangkan hidrometalurgi adalah proses ekstraksi, pemurnian dan daur ulang (*recycling*) logam dengan menggunakan larutan *aqueous*. Pada pengolahan mineral yang mengandung *rare earth element* (REE) dipilih proses hidrometalurgi, sedangkan bijih saprolit sebagai contoh diproses melalui jalur pirometalurgi dikarenakan kandungan silika yang tinggi (Prasetyo, 2008).

Pemilihan proses pengolahan logam ini tergantung dari beberapa aspek, seperti kadar logam dalam bijih dan kondisi mineral (yaitu kandungan pengotor). Contoh lainnya adalah bijih limonit yang kaya akan oksida Fe (mengandung Magnesium dan Silika yang rendah). Sedangkan bijih saprolit kaya akan Magnesium dan Silika. Pada pengolahannya, bijih limonit diproses secara hidrometalurgi dikarenakan logam dapat diekstraksi menggunakan asam tertentu. Sementara pada bijih saprolit diproses melalui jalur pirometalurgi untuk melebur kandungan pengotor silika yang tinggi (Prasetyo, 2008).

Secara garis besar proses hidrometalurgi meliputi dua tahap, yaitu *leaching* dan pemerolehan kembali logam (*recovery*) dari larutan hasil *leaching*. Proses pengolahan

logam lantanum dengan menggunakan teknologi hidrometalurgi adalah proses ekstraksi bijih REE melalui proses *leaching* dengan menggunakan reagen-reagen tertentu. *Leaching* merupakan proses pelarutan selektif dengan hanya melarutkan logam berharga tertentu saja dalam konsentrat tanpa melarutkan pengotornya. Mineral pengotor ini tetap berbentuk solid (Sudibyo, 2020).

Untuk mengendapkan logam tertentu dari hasil *leaching* kemudian dilakukan pemerolehan kembali logam dari larutan hasil *leaching*. Diharapkan agar konsentrasi logam tertentu dapat ditingkatkan hingga level tertentu dan konsentrasi pengotornya dapat diminimalkan sehingga proses pada tahap selanjutnya dapat berlangsung dengan efisien (Prasetyo, 2008). *Pregnant leach solution* (PLS) merupakan hasil dari proses *leaching* yang kemudian akan diproses kembali pada tahap *recovery*. Metode *solvent extraction* dipilih sebagai proses *recovery* dari PLS, sementara hasil *solvent extraction* selanjutnya akan diolah menggunakan *electrowinning* (elektrodeposisi). Skematik contoh proses pengolahan logam dapat dilihat pada gambar 3 (Sudibyo, 2020).



Gambar 3. Contoh Skematik Pengolahan Ekstraksi Logam (Sudibyo, 2020)

2.3. Elektrodeposisi

2.3.1. Elektrodeposisi Konvensional

Elektrodeposisi (juga dikenal dengan istilah *electrowinning*) merupakan proses elektroekstraksi elektrolit dengan terjadinya reduksi katodik yang bertujuan untuk mengambil logam dalam bentuk padat, dari suatu larutan yang mengandung ion logam. Dalam proses ini arus listrik searah dialirkan ke dalam larutan lewat anoda dan katoda. Arus listrik bergerak dari anoda melewati larutan yang mengandung logam, sehingga logam akan terkestraksi dan tersimpan di katoda. Anoda yang digunakan dalam proses elektrodeposisi harus terbuat dari bahan yang tidak larut (*inert*).

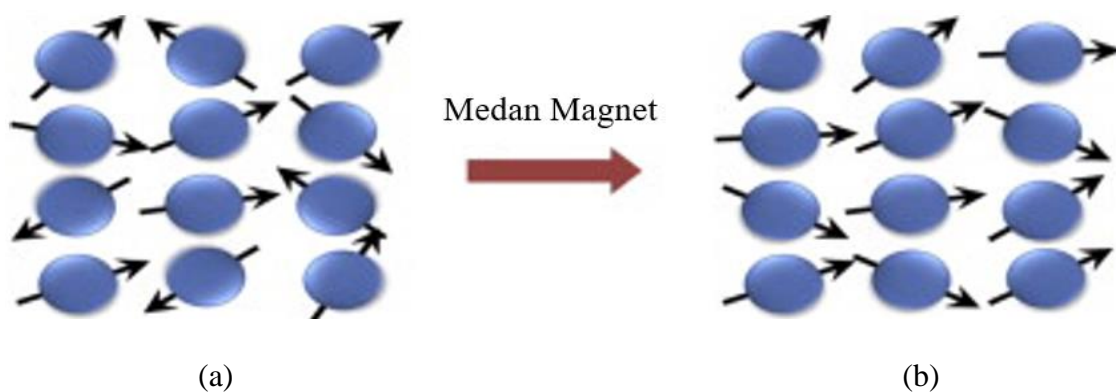
Kelebihan dari metode ini dibandingkan metode *recovery* lain adalah mudah dilakukan karena tidak membutuhkan bahan kimia. Elektrodeposisi juga mampu menghasilkan logam bebas yang diinginkan. Selain pendeposisian dengan *electrowinning*, ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengambil kembali kandungan logam, metode *recovery* lain diantaranya seperti presipitasi, membran separasi, dan adsorpsi (Virolainen, 2013).

2.3.2. Magneto-Elektrodeposisi (MED)

Lantanum memiliki sifat paramagnetik, yaitu memiliki sifat dalam ketertarikan terhadap magnet. Maka dari itu selama proses pendeposisian dengan listrik (elektrodeposisi) memerlukan medan magnet agar prosesnya lebih efektif. Material paramagnetik memiliki momen dipol magnetik yang permanen. Dengan tidak adanya medan magnet, momen

dipol akan berorientasi secara acak (arah medan magnetnya secara acak) dan magnet akan berorientasi searah ketika ada medan magnet.

Dapat dilihat pada Gambar 4, perubahan momen dipol ketika diberikan dan tidak diberikan medan magnet (Buschow, K.H.J, 2014). Dengan adanya medan magnet yang menghasilkan arah medan magnet yang searah dapat meningkatkan *limiting current* selama proses elektrodposisi. Elektrodposisi merupakan proses pengendapan material pada permukaan elektroda dengan menggunakan elektrolisis. Proses elektrodposisi menggunakan kuat medan magnet atau magneto elektrodposisi (MED) karena peningkatan *limiting current* dan perubahan elektrodposit menjadi lebih tersusun. MED juga didefinisikan sebagai proses yang menghasilkan lapisan logam yang tipis pada permukaan logam lainnya. Logam yang dilapisi digunakan sebagai katoda pada sel elektrolisis yang mengandung kation. Ketika arus diaplikasikan, reaksi elektroda terjadi pada katoda yang direduksi dengan ion logam. Material anoda biasanya diendapkan atau merupakan material yang tidak reaktif.



Gambar 4. Konfigurasi Dipol dengan (a) Tidak Adanya dan (b) Adanya Medan Magnet (Buschow, K.H.J, 2014)

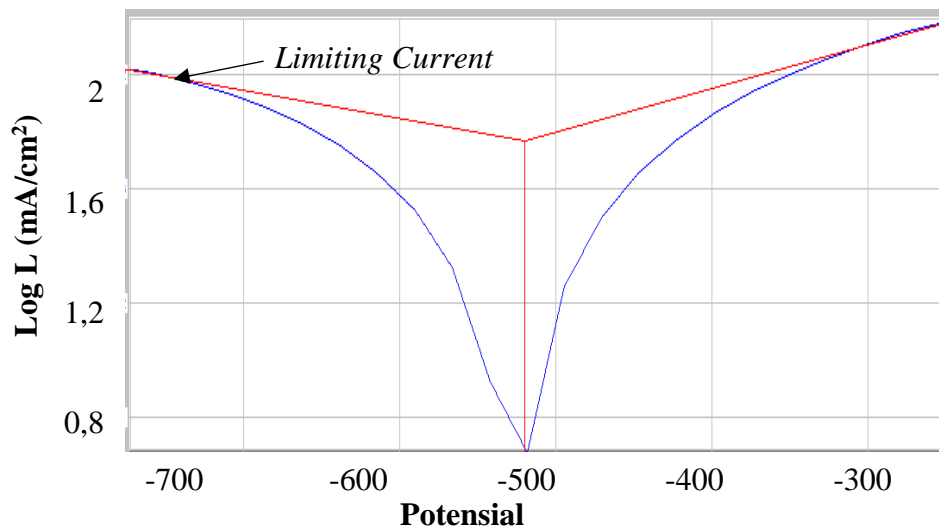
Medan magnet memberikan pengaruh yang signifikan pada proses elektrodeposisi. Pengaruh yang terlihat pada MED merupakan peningkatan pada arus maksimum (*limiting current*) dan perubahan yang besar pada morfologi elektrodeposit (Mhiochain *et al*, 2004; Matsushima *et al*, 2006). Hal tersebut dapat terjadi karena medan magnet yang dapat meningkatkan laju perpindahan spesies elektroaktif atau dari elektroda (Bund *et al*, 2003; Matsushima *et al*, 2006). Adanya perpindahan spesies elektroaktif dan meningkatnya arus akan menghasilkan lapisan atau deposit yang lebih baik (Uzir, M.H *et al*, 2015). Dengan adanya pengaruh medan magnet selama proses elektrodeposisi akan menghasilkan morfologi deposit yang lebih halus/ seragam, sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi efisiensi hasil deposit pada pengaplikasiannya (Chopart *et al*, 2002; Li S, *et al*, 2011).

Hydrogen Evolution Reaction (HER) merupakan produksi hidrogen melalui proses elektrolisis air. Perkembangan hidrogen terbatas dan tergantung pada melekasnya zat molekul datang dari permukaan katoda. Evolusi hidrogen biasanya muncul pada electroplating logam dan menimbulkan masalah. MED dapat membantu dalam menghilangkan HER, karena adanya medan magnet selama proses elektrodeposisi menyebabkan gas hidrogen tidak muncul selama proses elektrodeposisi. Adapun dilakukannya magneto elektrodeposisi juga bertujuan untuk memperbaiki permasalahan yang sering muncul, yaitu kekasaran permukaan yang dimiliki oleh hasil deposit. Dengan digunakannya MED pada proses elektrodeposisi, maka dapat membantu memperhalus permukaan yang dihasilkan.

2. 4. Perpindahan Masa Pada MED

Perpindahan massa merupakan fenomena transport massa dari satu bagian ke bagian yang lainnya. *Limiting current* sangat penting dalam elektrodeposisi dan MED, karena perpindahan massa yang optimum akan dihasilkan dari *limiting current* (Uzir, M.H *et al*, 2015). Magneto hidrodinamis (MHD) merupakan mekanisme perpindahan pada proses MED yang berasal dari interaksi antara medan magnet dengan aliran elektrolit yang menyebabkan adanya induksi dari potensial listrik dan arus (Legeai, 2004). MHD mempelajari sifat fluida secara elektrik dengan adanya medan magnet (Khalid dan Norsarahaida, 2014).

Pengaruh MHD disebabkan adanya gaya Lorentz yang berlaku pada saat perpindahan ion dari dalam elektrolit dan menimbulkan aliran dekat dengan permukaan elektroda (Coe *et al*, 2001). Gaya Lorentz merupakan gaya yang disebabkan adanya muatan listrik pada medan magnet, gaya Lorentz pertama kali ditemukan oleh Hendrik Lorentz pada 1892. Dengan adanya MHD, aliran akan membentuk campuran pada area difusi dan mengurangi ketebalan dari lapisan difusi Nernst pada elektroda. Menurunnya lapisan difusi Nernst, densitas *limiting current* akan meningkat dan demikian juga laju deposit (Fahidy, 2001). Densitas *limiting current* merupakan densitas arus maksimum yang dapat diperoleh untuk reaksi elektroda dalam konsentrasi elektron dengan adanya *supporting electrolyte* berlebih. Perpindahan massa terbentuk dengan berdifusi pada lapisan difusi yang menyebabkan perbedaan konsentrasi pada reaktan antara tepi lapisan difusi dan permukaan elektroda (James, 1984).



Gambar 5. Plot Tafel pada MED Timah. $[\text{SnSO}_4] = 0,025 \text{ M}$; $0,5 \text{ cm}^2$ elektroda kerja, dan kuat medan magnet $0,3 \text{ T}$. (Sudiby, 2010)

Teknik analisa elektrokimia yang digunakan yaitu *linear sweep voltammetry* (LSV) dan *Chronoamperometry* (CA). Pada penelitian, LSV digunakan dalam mengukur arus maksimum (*limiting current*). Untuk menentukan arus maksimum, hasil dari LSV harus digambarkan dalam plot tafel. Plot Tafel merupakan plot antara potensial elektroda (mV) dengan logaritma arus densitas ($\text{Log } J \text{ (mA/cm}^2\text{)}$). Plot Tafel *limiting current* dapat dilihat pada gambar 5. Pada analisa CA diperoleh Cottrel plot, yang mana adalah grafik antara rapat arus $i_L \text{ (A/cm}^2\text{)}$ dengan waktu dipangkatkan negatif setengah ($t^{-1/2}$) yang mana akan diperoleh gradien untuk mendapatkan nilai koefisien difusi (Sudiby, 2010; Uzir *et al*, 2015).

Limiting current menyebabkan butiran logam tumbuh dengan seragam serta permukaannya lebih halus. Massa dan ukuran fraktal elektrodeposisi meningkat ketika jumlah elektrolit dan tegangan yang digunakan semakin tinggi (Sudiby, 2010).

Fenomena *limiting current* dan pertumbuhan fraktal terjadi karena pengaruh medan magnet yang dapat meningkatkan laju perpindahan massa dari atau untuk elektroda. Gaya yang bekerja pada perpindahan massa yaitu gaya Lorentz (R. Steven, 1996).

2. 5.Pengujian

2.5.1. Komposisi kimia *X-ray fluorescence (X-RF)*

Uji komposisi kimia menggunakan *X-ray fluorescence (X-RF)*. Spektroskopi X-RF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analisa. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan karena membutuhkan jumlah sampel yang relatif kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral.

Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk hasil penggilingan atau pengepressan menjadi bentuk film yang banyak digunakan menggunakan beberapa prinsip. Apabila elektron dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur tersebut. Pada teknik difraksi sinar-X suatu berkas elektron digunakan, sinar-X dihasilkan dari tembakan berkas elektron terhadap suatu unsur di anoda untuk menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang diketahui. Peristiwa ini terjadi pada tabung sinar-X. Pada teknik XRF, kita menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit sinarX untuk mengeluarkan electron dari kulit bagian dalam untuk menghasilkan sinar-X baru. Seperti pada tabung

pembangkit sinar-X, elektron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sampel analit menghasilkan sinar-X dengan panjang-panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sampel. Untuk setiap atom di dalam sampel, intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sampel. Dengan demikian, jika kita dapat mengukur intensitas sinar -X karakteristik dari setiap unsur, kita dapat membandingkan intensitasnya dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsur dalam sampel bisa ditentukan. Instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut dinamakan *X-Ray Fluorescence Spektrometer*. Peralatan ini terdiri dari tabung pembangkit sinar-X yang mampu mengeluarkan electron dari semua jenis unsur yang sedang diteliti. Sinar-X ini yang dihasilkan harus berenergi sangat tinggi, sehingga anoda target dalam tabung pembangkit harus berupa unsur Cr, Mo, W, atau Au.

Pengujian komposisi kimia dari lantanum sangat diperlukan untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada bahan baku. Seperti yang telah dibahas pada poin sebelumnya, bahwa Permen ESDM No 1 (diperbaharui dengan Permen ESDM No 25 tahun 2018) mensyaratkan untuk setiap mineral tanah jarang/REE, seperti Lantanum harus dimurnikan yaitu hingga mencapai nilai kemurnian lebih dari 98% didalam negeri.

2.5.2. Kristalografi (*X-ray Diffraction*)

X-ray Diffraction (X-RD) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memeriksa struktur kristal dari bahan atau zat yang halus. Dengan menggunakan metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan melihat pola difraksi mineral yang dihasilkan. Metode analisis yang digunakan yaitu aplikasi *HighScore Plus database*

Crystallography Open Database (COD) (Oktamuliani, 2016). Merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti *stress*, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa (Dyah et al., 2018). Sinar-X terjadi ketika suatu bahan ditembakkan dengan elektron dengan kecepatan dan tekanan tinggi dalam tabung vakum. Elektron-elektron berasal dari filamen (anoda) dipercepat menumbuk target (katoda) yang berada dalam tabung sinar-X, sehingga elektron-elektron mengalami perlambatan. Sebagian energi kinetik elektron pada filamen diserahkan pada elektron target, mengakibatkan ketidakstabilan elektron. Keadaan tidak stabil akan kembali pada kondisi normal dalam waktu 10^{-8} detik sambil melepaskan energi kinetik elektron sebagai radiasi gelombang elektromagnetik dalam bentuk sinar yang disebut sinar-X primer.

2.5.3. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Alat uji SEM digunakan untuk melihat struktur mikro hasil proses magneto-elektrodeposisi (MED).

Pengujian SEM dapat digunakan untuk mengetahui:

- 1) Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya),
- 2) Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*, dan sebagainya),
- 3) Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya),

- 4) Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

2.5.4. Kekerasan Mikro (*Vickers*)

Pengujian kekerasan suatu bahan digunakan secara mudah untuk mengetahui gambaran sifat mekanis. Pengujian dapat dilakukan pada material ulet dan getas. Material getas biasanya dilakukan pengujian kekerasan skala mikro dengan pemilihan daya tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan material keras. Kekerasan sendiri menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Terdapat beberapa metode pengujian kekerasan yang sering digunakan yaitu:

- 1) Kekerasan goresan (*scratch hardness*);
- 2) Kekerasan lekukan (*indentation hardness*);
- 3) Kekerasan pantulan (*rebound*).

Pada pengujian kekerasan metode lekukan antara lain yaitu:

- 1) Uji kekerasan brinell;
- 2) Uji kekerasan *rockwell*;
- 3) *Knoop*;
- 4) *Vickers*; dan lain sebagainya.

Uji kekerasan vickers merupakan metode pengujian kekerasan yang menggunakan indentor berbentuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antar permukaan piramida yang berhadapan adalah sebesar 136° . Angka atau nilai

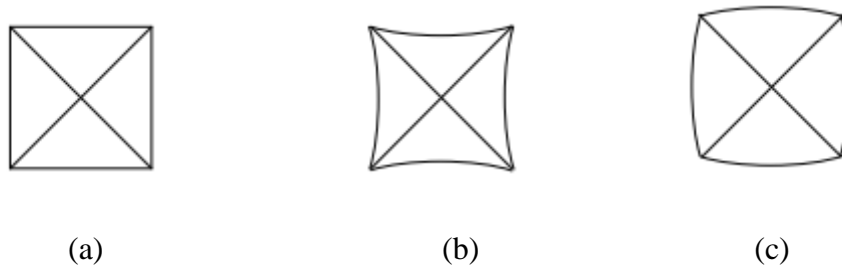
kekerasan pada pengujian ini sering disingkat sebagai *vickers hardness number* atau VHN didefinisikan sebagai beban indentasi dibagi dengan luas permukaan lekukan yang terbentuk. Luas permukaan lekukan ini diukur menggunakan mikroskop sepanjang jejak diagonal jejak. Persamaan 1 untuk menentukan nilai VHN adalah sebagai berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \quad (1)$$

Dimana,

- P = beban yang diberikan (Kg)
- L = panjang diagonal rata-rata (mm)
- θ = sudut antar muka yaitu 136°

Beban yang biasa digunakan pada pengujian vickers berkisar antara 1 hingga 120 kg, tergantung terhadap jenis material yang digunakan. Namun yang harus diperhatikan yaitu hasil lekukan yang dibentuk pada saat proses indentasi harus berbentuk bujur sangkar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a). Penyimpangan bentuk ini dapat terjadi karena adanya penurunan material uji di sekitar permukaan yang datar atau disebut sebagai lekukan bantal jarum, lihat pada Gambar 6 (b), keadaan demikian biasanya terjadi pada logam yang mengalami pelunakan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berbeda. Penyimpangan bentuk yang kedua yaitu lekukan berbentuk tong, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 (c), hal ini terjadi akibat penimbunan ke atas permukaan penekan dan biasanya terjadi pada logam yang mengalami pengerjaan dingin (Dieter, 1987).



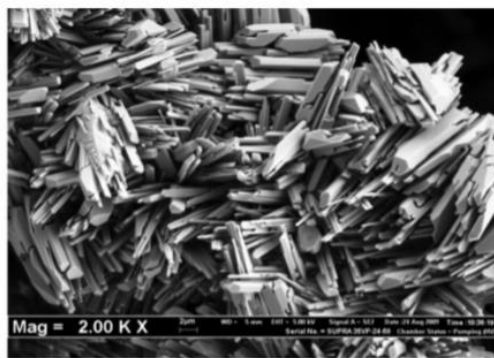
Gambar 6. Bekas indentasi (a). lekukan sempurna, (b). Lekukan bantal jarum, dan (c). Lekukan tong.

Pengujian kekerasan vickers berbeda dengan pengujian brinell dan rockwell dimana pada pengujian kekerasan ini menggunakan satu jenis indentor yaitu indentor intan yang berbentuk piramid. Foto mikro terhadap hasil pengujian kekerasan vickers ini dapat digunakan untuk menentukan *fracture toughness* material getas. Bekas indentasi yang mengakibatkan retakan disekitar indentasi digunakan dalam perhitungan menentukan *fracture toughness*. Meskipun banyak metode yang telah dikembangkan untuk menentukan *fracture toughness* suatu material namun banyak peneliti terus menggunakan metode panjang retak lekukan vickers (Quinn, 2007).

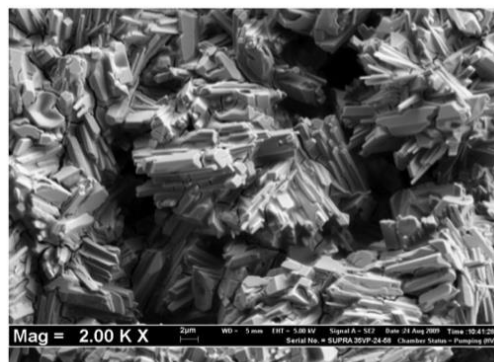
2. 6.MED Pada Timah

Sama seperti lantanum, timah merupakan logam yang bersifat paramagnetik. Danilyuk *et al*, 1990 mempelajari efek kuat medan magnet (0,05-0,19 T) dalam elektrodeposisi terhadap lapisan film timah pada bak sulfat. MFE (Magnetic Field Effect) memberikan efek signifikan pada proses elektrodeposisi timah dan meningkatkan kinetika elektrodeposisi. Namun, MFE pada fenomena perpindahan massa dan pertumbuhan fraktal pada elektrodeposisi timah belum diketahui (Sudibyo 2010).

Pada penelitian *magneto-electro deposition of tin dendrites*, dengan variabel kuat medan magnet (0-0,3 T), luas elektroda kerja, konsentrasi elektroaktif, viskositas kinematik pada elektrolit, dan konsentrasi zat aditif yaitu glukonat, menghasilkan lapisan yang lebih halus. Kuat medan magnet (0,3 T) dan ditambahkan glukonat sebagai elektrolit aditif menghasilkan lapisan yang lebih halus karena adanya efek MHD yang dapat mengurangi hambatan pada perpindahan ion dengan membuka jalur difusi yang lebih banyak sehingga meningkatkan *limiting current* dan menghasilkan permukaan yang lebih baik (Uzir, M.H., 2015). Hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

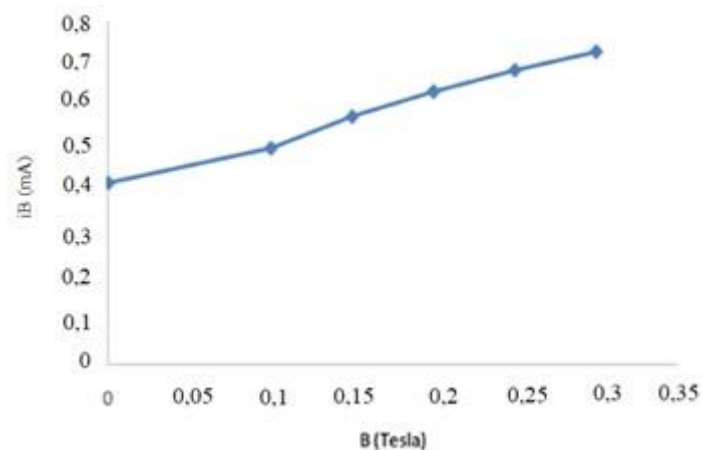


Gambar 7. Hasil SEM Pada Kuat Medan Magnet 0 T (Uzir, M.H., 2015)



Gambar 8. Hasil SEM Pada Kuat Medan Magnet 0,3 T (Uzir, M.H., 2015)

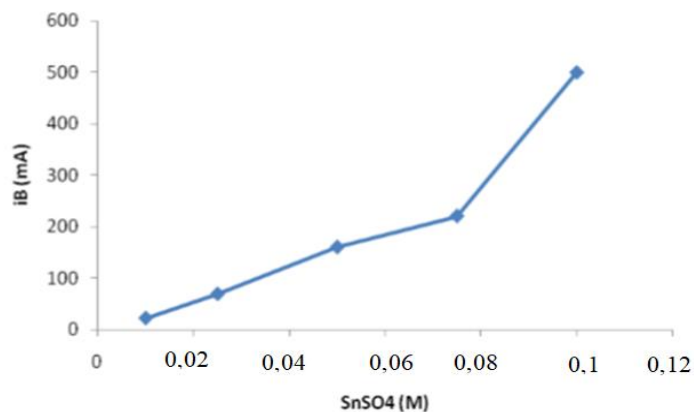
Sudibyo dkk, 2009 melakukan penelitian tentang pengaruh medan magnet pada elektrodeposisi timah, menggunakan timah (II) sulfat (99%), sodium sulfat (99%) dan asam sulfur (99%) 40 ml dan kuat medan magnet (0-0,3 T) dengan variasi luas elektroda kerja 0,32285; 0,5; 0,57485; dan 0,95285 cm². Elektrodeposisi timah yang dilakukan memiliki pengaruh yaitu semakin tinggi kuat medan magnet menyebabkan meningkatnya *limiting current* karena terjadinya peningkatan perpindahan massa pada elektrodeposisi dan efek MHD serta meningkatnya perpindahan elektroaktif dari atau untuk elektroda. Grafik hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 9.



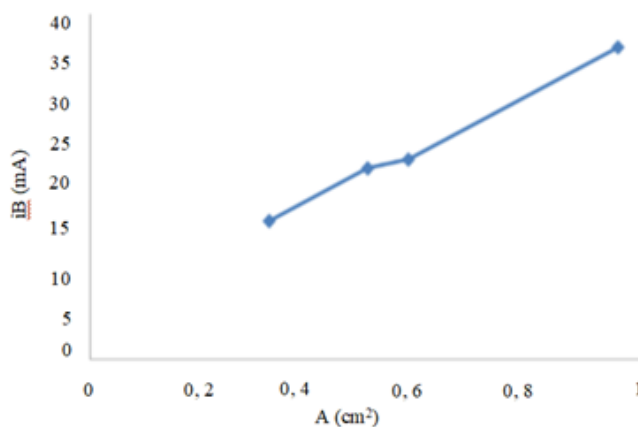
Gambar 9. Grafik antara *Limiting Current* dengan Kuat Medan Magnet (Sudibyo dkk, 2009)

Lalu viskositas konsentrasi elektrolit juga diamati pengaruhnya. Yang mana semakin tinggi konsentrasi menyebabkan magnet bergerak lebih efektif sehingga meningkat pula *limiting current*, dikarenakan kation bebas pada elektrolit juga meningkat. Pengaruh konsentrasi elektroaktif yaitu SnSO₄, menghasilkan bahwa semakin meningkat konsentrasi SnSO₄ menyebabkan *limiting current* semakin meningkat karena

perpindahan massa yang meningkat pada proses elektrodeposisi. Grafik antara nilai *limiting current* dengan konsentrasi SnSO_4 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik antara *Limiting Current* dengan konsentrasi SnSO_4 (Sudibyo dkk, 2009)



Gambar 11. Grafik antara *Limiting Current* dengan Luas Elektroda (Sudibyo dkk, 2009)

$$J = \frac{nFDc}{\delta} \quad (2)$$

Adapun meningkatnya luas area elektroda berpengaruh terhadap pengadukan di area difusi lebih efektif karena mengurangi ketebalan lapisan difusi, sehingga *limiting current* dan laju deposit meningkat. Rumusnya lihat persamaan 1, dimana J adalah *limiting*

current, n adalah elektron yang berpindah, F adalah konstanta Faraday, D adalah koefisien difusi, c adalah konsentrasi elektrolit dan δ adalah ketebalan lapisan difusi (Coey et al, 2001). Fenomena meningkatnya *limiting current* terjadi karena kenaikan arus menyebabkan meningkatnya reaksi elektroda, area yang lebih luas menyebabkan pengadukan yang lebih efektif di area difusi sehingga laju depositnya meningkat maka *limiting current* juga meningkat. Grafik antara nilai *limiting current* dengan luas elektroda kerja dapat dilihat pada Gambar 11.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Januari 2021 – Agustus 2021. Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu sebagai berikut :

1. Proses mempersiapkan alat dan bahan, proses MED dilakukan di Laboratorium Hidrometalurgi, Balai Pengolahan Teknologi Mineral – LIPI Lampung Selatan.
2. Proses pengambilan data analisis XRD, XRF, SEM, dan Microvickers dilakukan di Laboratorium Analisa, Balai Pengolahan Teknologi Mineral – LIPI Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Yang Digunakan

Skematik rangkaian alat penelitian *magneto-electrodeposition* (MED) lihat gambar 16.

Berikut adalah alat-alat yang digunakan pada penelitian:



Gambar 12. Mesin *Scanning Electron Microscope* (SEM)

1. *FESEM Thermo Scientific Quattro S completed with EDS Detector*
2. Corong

3. Sel 3 Elektroda
4. Kabel Penghantar
5. Gaussmeter
6. Magnet
7. *Mesin Wuhan Corrosion Test Instrument*
8. Gelas ukur
9. *Laptop*
10. *Magnetic-stirrer*
11. Neraca Digital



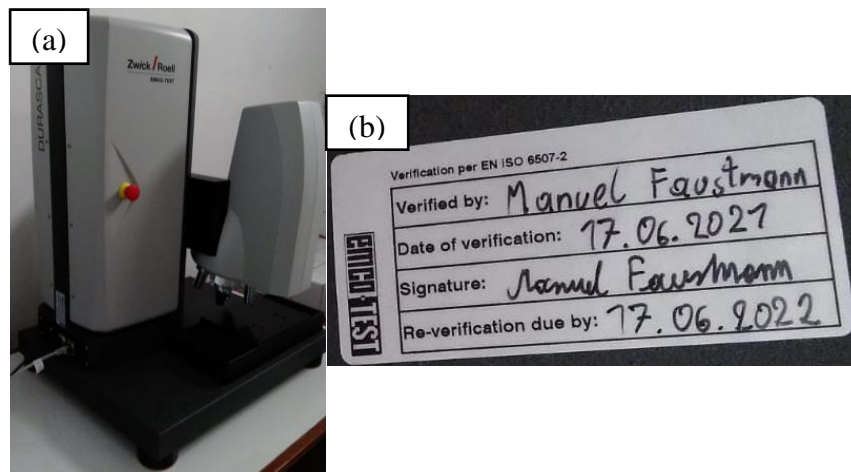
Gambar 13. *Mesin X-Ray Powder Diffraction*

12. *X-ray Diffraction (XRD Pan Analytical X'pert PRO MRD 1 from Netherland)*
13. Pipet tetes
14. *Rectifier*
15. Sarung Tangan
16. Viskometer Ostwald



Gambar 14. Mesin X-Ray *Fluorescence*

17. X-Ray *Fluorescence* (XRF, Panalytical Epsilon 3 XLE from Netherland)



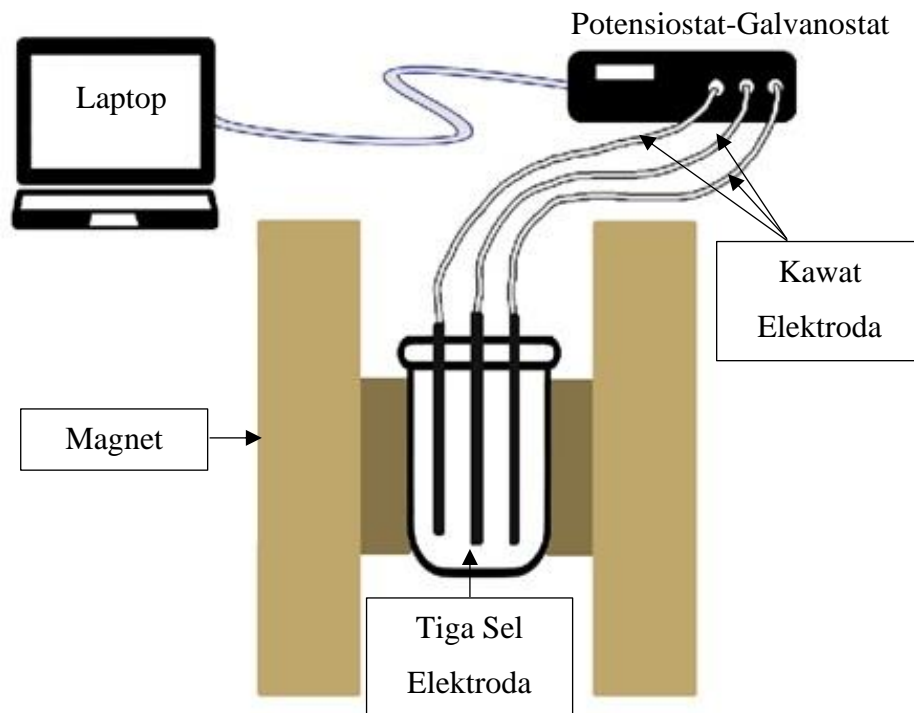
Gambar 15. (a) Mesin *Microvickers* (b) Stiker Kalibrasi *Microvickers*

18. *Microvickers* Zwick Roell EMCO-TEST, from Germany

3.2.2 Bahan Yang Digunakan

Berikut adalah bahan yang digunakan pada penelitian:

1. Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98%
2. Larutan H_2SO_4
3. Akuades



Gambar 16. Skematik Rangkaian Alat Penelitian MED Lantanum

3.3. Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Proses Pembuatan Elektrolit dari Lantanum (III) Klorida Heptahidrat

1. Lantanum (III) Klorida Heptahidrat 98% ($\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), larutan H_2SO_4 dan akuades disiapkan.
2. $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dianalisis menggunakan XRD dan XRF untuk mengetahui senyawa dan kadar setiap unsur pada sampel.
3. Larutan H_2SO_4 dilakukan pengenceran 1; 2; 3; 4 dan 5 M dengan akuades secara pengadukan manual.
4. Larutan H_2SO_4 pada konsentrasi tertentu di-*stirring* dengan $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, menggunakan kecepatan putaran 500 rpm.
5. Densitas dan viskositas larutan elektrolit diukur.

6. Larutan elektrolit diukur sebanyak 75 mL yang akan digunakan pada proses MED.

3.3.2 Proses MED Lantanum (III) Klorida Heptahidrat Untuk Analisis *Limiting Current*

1. Larutan elektrolit, elektroda kerja (Pt), elektroda bantu (Pt), elektroda pembanding (Ag/AgCl), dan mesin *Wuhan corrosion test* disiapkan
2. Elektromagnet dirangkai sesuai kuat medan magnet yang digunakan.
3. Mesin *wuhan corrosion test* dinyalakan.
4. Elektroda kerja dirangkai sesuai luas permukaan elektroda yang digunakan.
5. Tiga sel elektroda dan larutan elektrolit dirangkai pada elektromagnet.
6. Kabel elektroda dihubungkan dengan elektromagnet dan potensiostat-galvanostat.
7. Fitur LSV dan CA dipilih pada software CorrTest versi 5.2.
8. Proses MED dilakukan dengan software CorrTest versi 5.2, diatur hal-hal sebagai berikut:
 - a. Tegangan -2,5 sampai +2,5 V.
 - b. Densitas dan Luas Elektroda yang digunakan.
 - c. Temperatur Ruang.
 - d. Elektroda pembanding yang digunakan (Ag/AgCl).
9. Larutan elektrolit dilakukan proses MED dengan empat parameter sesuai Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Rancangan Percobaan *Dependence C*

Run	Lantanum Sulfat (M)	Kuat Medan Magnet (Gauss)	Luas Elektroda Kerja (cm²)	H₂SO₄ (M)
1	0,025	800	0,552	3
2	0,05	800	0,552	3
3	0,1	800	0,552	3
4	0,15	800	0,552	3
5	0,2	800	0,552	3

Tabel 2. Rancangan Percobaan *Dependence B*

Run	Lantanum Sulfat (M)	Kuat Medan Magnet (Gauss)	Luas Elektroda Kerja (cm²)	H₂SO₄ (M)
1	0,1	0	0,552	3
2	0,1	200	0,552	3
3	0,1	400	0,552	3
4	0,1	600	0,552	3
5	0,1	800	0,552	3

Tabel 3. Rancangan Percobaan *Dependence A*

Run	Lantanum Sulfat (M)	Kuat Medan Magnet (Gauss)	Luas Elektroda Kerja (cm²)	H₂SO₄ (M)
1	0,1	800	0,081	3
2	0,1	800	0,238	3
3	0,1	800	0,395	3
4	0,1	800	0,552	3

Tabel 4. Rancangan Percobaan *Dependence D dan v*

Run	Lantanum Sulfat (M)	Kuat Medan Magnet (Gauss)	Luas Elektroda Kerja (cm ²)	H ₂ SO ₄ (M)
1	0,1	800	0,552	1
2	0,1	800	0,552	2
3	0,1	800	0,552	3
4	0,1	800	0,552	4
5	0,1	800	0,552	3

10. Nilai *limiting current* ditentukan dari hasil LSV.

11. Data CA dipindahkan ke excel untuk menentukan nilai D.

12. Tiga sel elektroda dan reaktor dibersihkan menggunakan akuades

13. Mesin *wuhan corrosion test* dimatikan

3.3.3 Proses Elektrodeposisi Krom dengan Aditif Lantanum (III) Klorida Heptahidrat Untuk Analisa Struktur Endapan dan Kekerasan

1. Sumber arus searah (DC) disiapkan.

2. Larutan elektrolit (Kromium Sulfat dengan aditif LaCl₃.7H₂O) dan elektroda *mild-steel* disiapkan

3. Massa awal katoda (*mild-steel*) ditimbang dengan neraca digital.

4. Katoda, anoda dan larutan elektrolit dimasukkan pada elektromagnet.

5. Elektromagnet dan catu daya dihubungkan dengan kabel penghantar.

6. Melakukan proses MED, dengan:

a. Arus 15 Ampere

b. Waktu 13 menit

c. Medan magnet 0 dan 800 Gauss

7. Sumber arus DC dimatikan, lalu katoda *mild-steel* dikeringkan.
8. Katoda dianalisa dengan menggunakan SEM dan Microhardness.

3.4. Pelaksanaan Pengujian

3.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF) Benchtop Standar ASTM E 1621

1. Sampel bubuk yang telah lulus 270# disiapkan.
2. Sampel ke dalam *tube* dimasukkan.
3. XRF dan UPS dinyalakan kemudian power ditekan dan tunggu hingga beberapa saat baru kemudian kunci diputar ke arah on.
4. Kunci alat XRF diputar hingga terbuka.
5. *Tube* sampel dimasukkan ke dalam tempat alat.
6. Penutup XRF ditutup.
7. Program epsilon^{XLE} dalam komputer dioperasikan.
8. Dipilih *measure* lalu pilih *measure omnian* pilih *omnian* dan klik *open*.
9. Dipilih *enter your sample identification* kemudian isi nama sampel.
10. Pengukuran sampel dimulai.
11. Pengukuran selesai, hasil spektogram dianalisa.
12. Tombol *power* ditekan pada XRF dan UPS

3.4.2 X-Ray Diffraction (XRD-Portable) Standar ASTM E 1426

1. Software *data collector* dibuka untuk *login*.
2. *Spinner reflection* dipilih untuk sampel bubuk.
3. Sampel yang telah dipreparasi disiapkan dan disusun pada *holder*.
4. Menu *file* dipilih dan program *batch* untuk bubuk dibuka.

5. Kolom yang paling atas diklik dua kali, menu *modify* dipilih dan diisi identitas sampel.
6. Bagian kiri layar diklik 2 kali, menu X-Ray dipilih dan mA dinaikkan menjadi 20, tombol *apply* diklik.
7. Tombol *measure* dipilih dan *status measurement* diamati dan dilihat.
8. Apabila sampel telah selesai dianalisa, sampel *holder* diangkat dan dibersihkan.
9. Hasil XRD dianalisa menggunakan aplikasi High Score Plus (HSP).

3.4.3 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

1. Tekan tombol hitam pada *box pannel* dan hidupkan UPS
2. Hidupkan komputer dan klik *XT Microscope Server*
3. Klik *stage* dan *home stage* bersamaan, lalu lik vent sekitar 2 menit
4. Tarik *chamber* perlahan, masukkan sampel pada *stage* dan tutup *chamber* perlahan agar dipastikan tidak menabrak.
5. Pilih *high vacuum*, lalu proses vakum dimulai dan tunggu hingga indikator berwarna hijau.
6. Klik *beam-on* lalu pilih KV dan spot size, klik sampel yang akan dianalisa pada windows.
7. Auto kontras kecerahan (*brightness*) lalu set perbesaran sesuai kebutuhan.
8. Pilih titik sampel dan klik foto untuk menyimpan gambar.
9. Apabila proses selesai, mesin dimatikan dalam posisi awal.

3.4.4 Uji Kekerasan *Microvickers* Standar ASTM E384

1. Melakukan *setting* posisi mikroskop pada perbesaran tertentu, posisi titik awal pengujian.
2. Mengatur tekanan pengujian (contoh: 0.5 Newton).
3. Memilih *single* (untuk pengujian 1 kali/manual) atau pilih *multy* (contoh 3 kali dengan jarak 3d).
4. Melakukan *setting* arah pengujian.
5. Tekan enter untuk memulai pengujian.
6. Pemeriksaan hasil.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian MED Lantanum tentang pengaruh pengaruh luas area elektroda (A), kuat medan magnet (B), konsentrasi elektroaktif (C), koefisien difusi (D), dan viskositas elektrolit (ν) terhadap nilai *limiting current* dan lapisan yang terbentuk yang telah dilakukan analisa dengan *Scanning Electron Microscope* dan *Micro-vickers*, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan luas area elektroda (A), konsentrasi $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (C), dan kuat medan magnet (B) akan meningkatkan nilai *limiting current* pada MED Lantanum. Sementara kinematik viscositas elektrolit (ν) dan koefisien difusi spesies elektroaktif (D) akan mereduksi nilai *limiting current*.
2. Diamati bahwa hasil morfologi pengamatan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada proses *electroplating* Krom Sulfat dengan aditif $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang ada pengaruh medan magnet 800 Gauss, menghasilkan deposit yang lebih seragam; lebih tebal; dan lebih *compact* daripada tanpa pengaruh medan magnet.
3. Didapati nilai rata-rata kekerasan hasil pelapisan Krom Sulfat dengan aditif $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tanpa medan magnet sebesar 221 HV, dan dengan medan magnet sebesar 386 HV. Proses *plating* dengan tambahan pengaruh medan magnet (MED) menghasilkan deposit lapisan yang lebih keras.

5.2. Saran

Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu *me-redesign* instrumen elektrodeposisi agar memiliki kapasitas kuat medan magnet yang lebih besar. Sehingga pada proses MED-nya dapat dicoba kuat medan magnet lebih besar (diatas 800 Gauss), yang diharapkan dapat meningkatkan nilai *limiting current* dan menghasilkan lapisan yang lebih halus/ lebih seragam lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bund , A., Koehler, S., Kuehnlein, H.H., Plieth, W. 2004. *Magnetic Field Effects in Electrochemical Reactions. Electrochimica Acta*, 49: 147-152.
- Buschow, K.H.J. 2015. *Handbook of Magnetic Materials Volume 23*. Radarweg 29, Amsterdam, Netherlands. Elsevier. Amsterdam.
- Brunelli, et al. 2019. *Effects of Cathodic Electrodeposition Parameters of Cerium Oxide Film on The Corrosion Resistance of The 2024 Al Alloy. Journal Materials and Corrosion* Vol 60, No. 7: 514-520.
- Chopart, J.P., Aaboubi,O., Meriene, E., Oliver, A., Ambalrd, J. MHD. 2002. *Control Limiting Faradaic Currents. Journal of Energy Conversion Management*, 43: 365 – 371.
- Coey, J. M. D., Hinds, G. 2001. *Magnetic Electrodeposition. Journal of Alloys and Compounds*, 326: 238 – 245.
- Dieter, E.G., 1987. *Metalurgi Mekanik*. Erlangga, Jakarta.
- Dyah, S.N., Ardiantono, F.A., Putri, L.K., 2018. Karakterisasi Komponen Aktif Pozzolan Untuk Pengembangan Portland Pozzolan Cement (Ppc) Characterization Of Pozzolan Activity Components For Portland Pozzolan Cement (Ppc) Development. *Tek. Kim.* 12, 52–56.
- Fahidy, T.Z. 2001. *Characteristic of Surface Produced Via Magneto-electrolytic Deposition. Progress in Surface Science*, 68: 155 -158.
- Fernanda, M.T., Paulo T.A.S. 2005. *Electrodeposition of Magnetic CoPd Thin Films, Influence of Plating Condition. 28th ECS Meeting*. 16 October 2005. Los Angeles. USA.
- James, A.M, 1984. *Electrochemistry Dictionary*. John Wiley & Sons, Ltd.

- Kementerian ESDM Republik Indonesia. 2018. Permen ESDM No 25 tahun 2018.
- Kementerian ESDM Republik Indonesia. 2019. Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Khalid Ahmed dan Norsarahaida S. Amin. 2014. *The Lorentz Force*. International Journal of Scientific and Innovative Mathematical Research (IJSIMR). Volume 2, Issue 4.
- Koza, J. A., Karnbach, F., Uhlemann, M., McCord, J., Mickel, C., Gebert, A., Baunack, S., Schultz, L. 2010. *Electrocrystallisation of CoFe Alloys Under the Influence of External Homogeneous Magnetic Fields—Properties of Deposited Thin Films*. *Electrochimica Acta*, 55: 819–831.
- Legeai, S., Chatelut, M., Vittori, O., Chopart, J.P., Aaboubi, O. 2004. *Magnetic Field Influence on Mass Transport Phenomena*. On Green Technology and Engineering (ICGTE).
- Leventis N., Chen, M., Gao, X., Canals, M., Zhang, P. 1998. *Electrochemistry with Stationary Disk and Ring-Disk Millielectrodes in Magnetic Fields*. *Journal of Physical Chemistry B*, 102: 3512-3522.
- Levesque, A., Chouchane, S., Douglade, J., Rehamnia R., Chopart, J.P. 2009. *Effect of Natural and Magnetic Convections on the Structure of Electrodeposited Zinc–Nickel Alloy*. *Applied Surface Science*, 255: 8048–8053.
- Levich, V. G. 1962. *Physicochemical Hydrodynamics*; Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey: 20-27.
- Li, S., Huang, K., Liu, S., Fang, D., Wu, X., Lu, D., & Wu, T. 2011. *Effect of Organic Additives on Positive Electrolyte for Vanadium Redox Battery*. *Electrochimica Acta*, 56(16), 5483–5487.
- Lubis, Nur Azizah. 2018. Pengaruh Kekentalan Cairan Terhadap Waktu Jatuh Benda menggunakan Falling Ball Method. FISITEK: Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi.

- Matsushima, J.T. , Trivinho-Strixino, F., Pereira, E.C. 2006. *Investigation of Cobalt Deposition Using the Electrochemical Quartz Crystal Microbalance*. *Electrochimica Acta*. 51: 1960–1966.
- Mhiochain Ni, T.R., Hinds, G., Martin, A., Chang, E., Lai, A., Costiner, L., Coey, J.M.D., 2004. *Influence of Magnetic Field and Gravity on the Morphology of Zinc Fractal Electrodeposits*. *Electrochimica Acta*, 49: 4813-4828.
- Oktamuliani, S., 2016. Identifikasi Mineral Pada Batuan Granit Di Geopark Merangin Provinsi Jambi Menggunakan X-Ray Diffraction (Xrd). *J. Online Physic* 1, 12–17.
- Prasetyo P. 2008. Tinjauan Tertundanya Pengolahan Laterit Dengan Teknologi HPAL Di Indonesia. *Seminar Nasional Material dan Metalurgi 2008*, p.57-68.
- Quinn, G.D., 2007. *Fracture Toughness of Ceramics by The Vickers Indentation Crack Length Method: A Critical Review*, In: *Ceramic Engineering And Science Proceedings*. American Ceramic Society, P. 45.
- Ratmi Herlani, dkk. 2011. *Mempelajari Pengaruh Logam Tanah Jarang Serium (Ce) dan Lantanum (La) Pada Analisis Torium Dengan Metoda Pendar Sinar-X*. Mujari Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan –BATAN, p. 237-248
- R, Steven, Ragsdale, Lee, Jeonghee, Gao, Xiaoping, and White, S. Henry. 1996. *Magnetic Field Effects in Electrochemistry*. Voltammetric Reduction of Acetophenone at Microdisk Electrodes. Utah: UniVersity of Utah.
- Shetty, Sandhaya., Rao, R. Vaishaka., dan Hedge, C. Ampar. 2016. *Magneto-electrodeposition of Sn-Ni alloy coating for better corrosion protection*. *International Journal of Chemical Engineering and Processing*. p. 29-30.
- Sudibyoy, Ismail, A.B., Idris, M.N., and Aziz, N. 2009. *Magnetic Field Influence on Limiting Current of Tin Electrodeposition*. Faculty of Engginering Malhayati University.
- Sudibyoy. 2010. *Modeling Of Limiting Current ang Growth Fractal For Electrodepotition Under Magnetic Field Influence*. Univeriti Sains Malaysia.

- Sudibyo, Oediyani, Cahyanegoro. 2020. *Optimization of Electro Metal Electrowinning Nickel Metal Processing Resulted by Solvent Extraction Using Versatic 10 And Cyanex 272*. Journal of Materials Science and Applied Energy 9 (1), 491– 497.
- Thomsen, V. and Schatzlein, D. 2010. *The Xray Spectrum of Lanthanum*. Spectroscopy Journal.
- Tschulik, K., Koza, J. A., Uhlemann, M., Gebert, A., Schultz, L. 2009. *Effects of Well-defined Magnetic Field Gradients on the Electrodeposition of Copper and Bismuth*. Electrochemistry Communications 11: 2241–2244.
- Uzir, M. H., et al. *Magneto-electro deposition of Tin Dendrites*. Surface and Coatings Technology, 264, 66–71.
- Virolainen, Sami. 2013. *Hydrometallurgical Recovery of Valuable Metals from Secondary Raw Materials*. Lappenranta: Lappenranta University of Technology.
- Wang Den, Y. Cheng, H. Jin, J. Zhang, J. Gao. 2012. *Influence of LaCl₃ addition on microstructure and properties of nickel-electroplating coating*, J. Rare Earths 31 p. 209–214.