

**PEMULIHAN LOGAM KOBALT DAN MANGAN DARI LIMBAH BATERAI
LITHIUM-ION JENIS *NICKEL MANGANESE COBALT OXIDE* (NMC)
DENGAN METODE HIDROMETALURGI**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika**



**Disusun oleh :
Cici Rumata Sinambela
08021381722072**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMULIHAN LOGAM KOBALT DAN MANGAN DARI LIMBAH BATERAI
LITHIUM-ION JENIS *NICKEL MANGANESE COBALT OXIDE* (NMC)
DENGAN METODE HIDROMETALURGI**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika**

Oleh :

CICI RUMATA SINAMBELA

08021381722072

Indralaya, Mei 2021

Pembimbing I



Dr. Ramlan
NIP. 196604101993031003

Pembimbing II



Oka Pradipta Arjasa, Ph.D.
NIP. 198002272008011007

Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika
Universitas Sriwijaya



Dr. Erihsyah Virgo, S.Si, M.T
NIP. 197009101994121001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pemulihan Logam Kobalt dan Mangan Dari Limbah Baterai Lithium-ion Jenis *Nickel Manganese Cobalt Oxide* (NMC) Dengan Metode Hidrometalurgi”** dengan baik dan lancar. Tak lupa shalawat dihaturkan untuk Nabi Muhammad SAW, semoga segala sifat terpuji yang telah beliau contohkan dapat senantiasa menghiasi diri ini dalam berperilaku di kehidupan sehari-hari. Adapun tugas akhir yang dilakukan di Pusat Teknologi Material - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT) Kawasan Puspiptek Serpong, diajukan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Disamping itu, tugas akhir ini juga bertujuan untuk memperluas wawasan penulis dalam dunia *recycling battery*.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih terutama kepada Bapak Dr. Ramlan selaku Pembimbing I dan Bapak Oka Pradipta Arjasa, Ph.D selaku Pembimbing II. Terimakasih atas segala perhatian, motivasi, arahan dan bantuannya kepada penulis. Penulis juga berterimakasih kepada :

1. Papa dan mama tercinta Sapta Donald R. Sinambela dan Etika Qoriati yang tak henti memberikan doa untuk setiap langkah dan dukungan dalam bentuk moril maupun materil.
2. Kakak dan adikku Wenny Valentina Sinambela dan Dea Catrina Sinambela yang selalu menghibur dengan canda tawanya sehingga penulis bersemangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Bapak M. Yusuf Nur Khakim, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Pembimbing Akademik di Jurusan Fisika Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
5. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu selama saya menempuh Pendidikan Strata 1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

6. Bapak Drs. Hadir Kaban, M.T selaku penguji I, Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si. selaku penguji II dan Bapak Drs. Pradanto P., DEA selaku penguji III yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Nabair (Babe), Kak David dan Mba Yuni selaku staf tata usaha Jurusan Fisika yang telah banyak membantu dalam administrasi selama perkuliahan.
8. Bapak Muhammad Dikdik Gumelar, S.T., M.T, Mba Aghni Ulma Saudi, S.T., dan Mas Saddam Husin, S.Si., M.T., yang telah banyak membantu dan memberikan saran kepada penulis dalam proses menyelesaikan penelitian di laboratorium.
9. Bapak Dr. Ir. Jarot, M.Sc., selaku *Chief Engineering* kegiatan baterai serta peneliti-peneliti lain di PTM-BPPT yang telah memberikan masukan serta saran kepada penulis dalam proses berjalannya penelitian dan hasil penelitian.
10. Sahabat seperjuangan di Jurusan Fisika yakni Almayda Atishobyta, Nur Rahmah, Jihan Mariana, dan Dinda Siti Nurnalia. Terima kasih selalu mau direpotkan, selalu memberikan semangat dan menjadi tempat berkeluh kesah. Semoga Allah membalas kebaikan kalian. *See you on top guys!*
11. Sahabat seperjuangan dari SMP, SMA hingga sekarang yakni Siti Rahmelia Martha, Citra Agiska, Cito Pringga Yudha, Aqiel Sultan dan Reza Noval Fahlevi. Terima kasih karena kalian selalu ada dalam kondisi apapun, selalu ada saat cirumbel butuh pertolongan, dan selalu memberikan canda tawa yang dapat menjadi obat penat hahaha. *So lucky to have you guys!*
12. Seluruh rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2017 terkhusus KBI Fisika Teori dan Material yang selalu bersama menapaki tanjakan perjuangan di bangku kuliah.
13. Kak Faridatul Afiyah, S.Si. yang telah meluangkan waktunya untuk mengajarkan materi tentang tugas akhir ini.
14. Kakak-kakak dan teman-teman di kost mami yang berasal dari UNNES, ITB, UTS dan UPN yang selalu memberikan semangat dan menghibur selama di kosan. *Especially for* Kak Dan partner pulang-pergi ketempat penelitian, Kak Iis dan Kak Bara yang menjadi tempat berkeluh kesahku.
15. Caca dan Endah yang telah menjadi teman diskusi dan membantu penulis pada saat melaksanakan penelitian tugas akhir di PTM-BPPT.
16. Rekan-rekan seperjuangan di organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika, Asisten Dosen Fisika Dasar dan Asisten Laboratorium Sains Material beserta kakak-kakak

dan adik-adik tingkat Jurusan Fisika yang telah menghibur dan memberikan semangat selama masa perkuliahan.

17. Serta seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu penulis dalam tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa di dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini terdapat masih banyak kekurangan dan keterbatasan penulis dalam menyelesaikan hasil tugas akhir. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik, saran, maupun masukan yang sifatnya membangun. Penulis berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi yang membaca dan bagi yang memerlukannya. Aamiin. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu proses penelitian dan pembuatan tugas akhir ini.

Indralaya, Mei 2021

Cici Rumata Sinambela
NIM. 08021381722072

**PEMULIHAN LOGAM KOBALT DAN MANGAN DARI LIMBAH BATERAI
LITHIUM-ION JENIS *NICKEL MANGANESE COBALT OXIDE* (NMC)
DENGAN METODE HIDROMETALURGI**

Cici Rumata Sinambela

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang – Prabumulih KM 32 Indralaya, Ogan Ilir

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai lithium-ion jenis NMC dengan metode hidrometalurgi yang meliputi proses *leaching*, *solvent extraction*, dan *stripping*. Asam sulfat digunakan sebagai bahan *leaching* dan bahan *stripping*. Proses *leaching* menggunakan H₂SO₄ dengan H₂O₂ dan H₂SO₄ dengan C₆H₈O₇. Proses *solvent extraction* menggunakan ekstrak komersial Cyanex 272 dan D2EHPA yang keduanya disaponifikasi dengan menambahkan sejumlah stoikiometrik larutan natrium hidroksida. Dari hasil analisa XRD serbuk katoda limbah baterai NMC mengandung multi fasa yang meliputi fasa LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂, LiCoO₂, MgO, BaCoO_{2,22}, Na₅NiO₄ dan Zn₁₃Na. Dari hasil ICP-OES konsentrasi H₂SO₄ yang optimal pada proses *leaching* adalah 1 M dengan persentase kobalt dan mangan sebesar 0,001015% dan 0,08312%. Nilai persentase *leaching* kobalt dan mangan menggunakan *reagen leaching* hidrogen peroksida lebih tinggi daripada menggunakan *reagen leaching* asam sitrat. Proses *solvent extraction* Na-Cyanex 272 menghasilkan persentase kobalt (org.) dan mangan (org.) sebesar 4,7142% dan 4,7764%. Proses *stripping* Co dan Mn menghasilkan persentase kobalt dan mangan sebesar 77,78% dan 75%. Proses *solvent extraction* Na-D2EHPA menghasilkan kobalt (aq.) dan mangan (org.) sebesar 60% dan 49% sedangkan untuk proses *stripping* mangan menghasilkan persentase mangan (aq.) sebesar 62,5%.

Kata kunci: Serbuk Katoda NMC, Metode Hidrometalurgi, Baterai Lithium-ion.

**RECOVERY OF COBALT AND MANGANESE METALS FROM LITHIUM-ION
NICKEL MANGANESE COBALT OXIDE (NMC) TYPE BATTERY WASTE WITH
HYDROMETALLURGICAL METHODS**

Cici Rumata Sinambela

Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Sriwijaya University

Jl. Raya Palembang – Prabumulih KM 32 Indralaya, Ogan Ilir

ABSTRACT

A research has been held for the recovery of cobalt and manganese metals from lithium-ion NMC type battery waste using hydrometallurgical methods which include leaching, solvent extraction, and stripping processes. Sulfuric acid is used as a leaching and stripping agent. The leaching process using H_2SO_4 with H_2O_2 and H_2SO_4 with $C_6H_8O_7$. The solvent extraction process using commercial extractants Cyanex 272 and D2EHPA are both is saponified by adding a stoichiometric amount of sodium hydroxide solution. From the results of XRD analysis, the cathode powder of NMC battery waste contains multi-phases which include the $LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O_2$, $LiCoO_2$, MgO , $BaCoO_{2.22}$, Na_5NiO_4 and $Zn_{13}Na$ phases. From the ICP-OES results, the optimal H_2SO_4 concentration in the leaching process was 1 M with the percentage of cobalt and manganese of 0.001015% and 0.08312%. The percentage value of cobalt and manganese leaching using hydrogen peroxide leaching reagent was higher than using citric acid leaching reagent. The solvent extraction process of Na-Cyanex 272 produced cobalt (org.) and manganese (org.) 4.7142% and 4.7764% percentages. The stripping process of Co and Mn produced cobalt and manganese 77.78% and 75% percentages. The solvent extraction process of Na-D2EHPA produced cobalt (aq.) and manganese (org.) 60% and 49% percentages, while the stripping process of manganese produced a manganese (aq.) 62.5% percentages.

Key words: *Cathode NMC Powder, Hydrometallurgical Methods, Lithium-ion Batteries*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Baterai Lithium-Ion.....	5
2.2. $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ (Lithium Nickel Manganase Cobalt Oxide – NMC).....	6
2.3. Metode Hidrometalurgi	7
2.3.1. Proses Leaching	8
2.3.2. Solvent Extraction.....	9
2.3.3. Proses Stripping	9
2.4. Karakterisasi Material	9
2.4.1. X-Ray Diffraction (XRD)	9
2.4.2. Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry	12
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	13
3.2.1. Alat Sintesis Penelitian	13
3.2.2. Bahan Penelitian	14
3.3. Tahapan Penelitian	14

3.3.1.	Persiapan Sampel dan Bahan	14
3.3.2.	Proses Leaching	14
3.3.3.	Proses Solvent Extraction	15
3.3.4.	Proses Stripping	16
3.3.5.	Karakterisasi.....	16
3.4.	Data	17
3.4.1.	Data XRD.....	17
3.4.2.	Data ICP-OES	17
3.5.	Diagram Alir Penelitian	19
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1.	Karakterisasi Serbuk Katoda NMC Menggunakan XRD	21
4.2.	Karakterisasi ICP-OES	23
4.2.1.	Leaching.....	23
4.2.2.	Solvent Extraction dan Stripping	26
4.2.2.1.	Solvent Extraction dengan Na-Cyanex 272	27
4.2.2.2.	Stripping Co dan Mn.....	28
4.2.2.3.	Solvent Extraction dengan Na-D2EHPA	28
4.2.2.4.	Stripping Mn	29
BAB V	PENUTUP.....	31
5.1.	Kesimpulan	31
5.2.	Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA		32
LAMPIRAN.....		37
A.	Perhitungan Bahan yang digunakan	38
B.	Perhitungan XRD.....	39
C.	Perhitungan ICP-OES	55
D.	Gambar Alat dan Bahan	59
E.	Gambar Hasil Pengujian XRD dari X'Pert HighScore Plus	62
F.	Gambar Hasil Pengujian ICP-OES	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komposisi kimia pada baterai lithium-ion.....	6
Gambar 2.2. Difraksi sinar-X.....	10
Gambar 2.3. Pola difraksi sinar-X bahan katoda limbah NMC.....	11
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 4.1. Pola difraksi sinar-X serbuk katoda limbah baterai NMC.....	21
Gambar 4.2. Pengaruh Konsentrasi H ₂ SO ₄ Terhadap Persentase <i>Leaching</i> Kobalt dan Mangan menggunakan <i>reagen leaching</i> Hidrogen Peroksida	23
Gambar 4.3. Pengaruh Konsentrasi H ₂ SO ₄ Terhadap Persentase <i>Leaching</i> Kobalt dan Mangan menggunakan <i>reagen leaching</i> Asam Sitrat	25

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data yang diharapkan dari hasil XRD dan ICP-OES	17
Tabel 3.2. Tabel yang diharapkan dari hasil uji XRD	17
Tabel 3.3. Tabel yang diharapkan dari hasil uji ICP-OES proses leaching	17
Tabel 3.4. Tabel yang diharapkan dari hasil uji ICP-OES proses solvent extraction Na-Cyanex 272	18
Tabel 3.5. Tabel yang diharapkan dari hasil uji ICP-OES proses stripping Co dan Mn	18
Tabel 3.6. Tabel yang diharapkan dari hasil uji ICP-OES proses solvent extraction Na-D2EHPA	18
Tabel 3.7. Tabel yang diharapkan dari hasil uji ICP-OES proses stripping Mn.....	18
Tabel 4.1. Ukuran Kristal Fasa-fasa pada Serbuk Katoda Limbah Baterai NMC	22
Tabel 4.2. Persentase Solvent Extraction Kobalt dan Mangan menggunakan Na-Cyanex 272	27
Tabel 4.3. Persentase Stripping Co dan Mn (aq.)	28
Tabel 4.4. Persentase Solvent Extraction Kobalt dan Mangan menggunakan Na-D2EHPA	29
Tabel 4.5. Persentase Stripping Mn (aq.).....	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahun dua ribuan perkembangan teknologi mengarah ke perkembangan yang sangat pesat di bidang elektronik. Khususnya pada *energy storage* seperti baterai, dimana baterai memiliki daya kapasitas penyimpanan yang tinggi (Ramlan *et al.*, 2007). Baterai adalah sebuah perangkat yang dapat mengubah energi kimia pada suatu bahan aktif komponen penyusunnya menjadi energi listrik dengan reaksi elektrokimia yang meliputi reaksi reduksi dan reaksi oksidasi (Satriady *et al.*, 2016). Pada awal tahun 1990-an Sony Corporation mengomersialkan baterai lithium-ion untuk yang pertama kalinya (Chen dan Zhou, 2014). Baterai lithium-ion (LIB) secara dominan digunakan sebagai sumber daya elektrokimia untuk perangkat elektronik seperti telepon seluler, komputer, kamera digital (Chen *et al.*, 2011), drone, dan saat ini semakin banyak diminati untuk implementasi skala besar pada kendaraan listrik (EV) karena karakteristiknya yang ringan, kepadatan energi yang tinggi, dan memiliki kinerja yang baik (Nshizirungu *et al.*, 2020). Baterai lithium-ion (LIB) umumnya terdiri dari katoda, anoda, elektrolit organik, dan *separator* (Ordoñez *et al.*, 2016). Salah satu bagian yang paling penting pada baterai adalah katoda. Karena katoda sangat menentukan efisiensi pengisian daya serta biaya suatu baterai. Menurut bahan katodanya, baterai lithium-ion diklasifikasikan menjadi baterai LCO (LiCoO_2), baterai LMO (LiMn_2O_4), dan baterai LFP (LiFePO_4). Namun, jenis baterai ini secara bertahap digantikan oleh baterai *lithium nickel manganese cobalt oxide* (LiNiMnCoO_2 atau NMC) (Chen dan Ho, 2018).

Dengan meningkatnya penggunaan perangkat elektronik portabel dan kendaraan listrik, konsumsi baterai lithium-ion (LIB) pun meningkat secara drastis sehingga menghasilkan banyak limbah padat baterai lithium-ion (Dunn *et al.*, 2012). Konsumsi global baterai lithium-ion (LIB) antara tahun 2000 dan 2004 mencapai sekitar 500-700 juta. Menurut *International Telecommunications Union* (ITU), pada tahun 2013 jumlah pengguna telepon seluler melebihi 6,8 miliar (Ordoñez *et al.*, 2016). Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Roland Berger Strategy Consultants pada tahun 2015 pasar LIB otomotif global diperkirakan akan mencapai lebih dari 9 miliar dolar. Menurut perkiraan baru-baru ini pada tahun 2020, lebih dari 25 miliar unit baterai lithium-ion yang setara

dengan 500 ribu ton limbah baterai lithium-ion akan dibuang (Zhuang *et al.*, 2019). Logam-logam berharga yang ada di limbah baterai lithium-ion meliputi, Co, Mn, Li, Ni, Al, dan Cu. Diantaranya, kobalt mendapatkan perhatian paling besar karena cadangannya yang terbatas dan nilainya yang tinggi (Zhuang *et al.*, 2019). Oleh karena itu, daur ulang baterai lithium-ion bekas dengan cara pemulihan logam-logam berharga yang terkandung di dalam katoda seperti kobalt, mangan, nikel dan litium, dianggap sebagai proses yang substansial untuk menyelesaikan masalah lingkungan agar baterai lithium-ion menjadi teknologi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Chen dan Ho, 2018).

Banyak metode yang telah diterapkan dalam proses pemulihan logam-logam berharga yang terkandung dalam limbah baterai lithium-ion seperti pemisahan secara mekanik, pirometalurgi, hidrometalurgi, dan bio-hidrometalurgi (Zhuang *et al.*, 2019). Sampai saat ini, metode seperti pirometalurgi, hidrometalurgi, dan bio-hidrometalurgi telah digunakan secara luas sebagai metode pemulihan logam, karena efisiensi pencucian dan pemulihannya yang tinggi. Namun, metode-metode tersebut memiliki beberapa kelemahan. Pada metode pirometalurgi memerlukan suhu yang relatif tinggi ($> 900^{\circ}\text{C}$) saat proses *leaching*. Suhu yang tinggi mengakibatkan tingginya energi yang dikonsumsi selama proses berlangsung. Hal tersebut yang membuat proses pirometalurgi tidak menguntungkan. Selain itu, pada suhu tinggi dapat menghasilkan gas beracun, seperti fosforil fluorida (POF_3) dan hidrogen fluorida (HF) (Nshizirungu *et al.*, 2020). Sebagai teknologi yang baru muncul, metode biohidrometalurgi telah menarik perhatian sebagai teknologi ramah lingkungan dengan potensi keuntungan dalam bidang pengolahan limbah (Chen *et al.*, 2015), tetapi pada metode ini masa perawatannya lama dan mikroba yang dibutuhkan sulit untuk diinkubasi secara efektif (Jha *et al.*, 2013). Oleh karena itu, metode hidrometalurgi yang mampu menghasilkan kemurnian tinggi, efisiensi tinggi, dan penggunaan energi yang rendah sangat cocok untuk pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai NMC (Zhang *et al.*, 2014).

Pada penelitian ini, dilakukan proses pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai lithium-ion jenis NMC dengan metode hidrometalurgi. Asam sulfat digunakan sebagai bahan *leaching* dan bahan *stripping*. Proses *leaching* menggunakan H_2SO_4 dengan H_2O_2 dan H_2SO_4 dengan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ dengan rasio *liquid-solid* 30 mL/gr,

diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 90 menit pada suhu 70°C menggunakan *magnetic stirrer*. Pada proses *solvent extraction* menggunakan ekstrak komersial Cyanex 272 dan D2EHPA yang diencerkan dengan kerosin dan keduanya disaponifikasi dengan menambahkan sejumlah stoikiometrik larutan natrium hidroksida. Serta dilakukannya pengujian menggunakan XRD untuk menganalisis fasa dan ukuran kristal setiap fasa yang terkandung pada serbuk katoda limbah baterai NMC serta ICP-OES untuk menganalisis komposisi kandungan unsur-unsur logam pada sampel.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini :

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi H_2SO_4 terhadap pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai lithium-ion jenis *nickel manganese cobalt oxide* (NMC)?
2. Bagaimana pengaruh *reagen leaching* terhadap pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai lithium-ion jenis *nickel manganese cobalt oxide* (NMC)?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah menggunakan bahan baku katoda dari limbah baterai lithium-ion jenis NMC. *Leaching* menggunakan H_2SO_4 dengan H_2O_2 dan H_2SO_4 dengan $C_6H_8O_7$ dengan rasio *liquid-solid leaching* yaitu 30 mL/gr. Kecepatan pengadukan 300 rpm pada suhu 70°C selama 90 menit. Variasi konsentrasi H_2SO_4 yang digunakan yaitu 0,1 M, 0,2 M, 1 M, dan 2 M.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini :

1. Menganalisis pengaruh konsentrasi H_2SO_4 terhadap pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai lithium-ion jenis *nickel manganese cobalt oxide* (NMC).
2. Menganalisis pengaruh reagen *leaching* terhadap pemulihan logam kobalt dan mangan dari limbah baterai lithium-ion jenis *nickel manganese cobalt oxide* (NMC).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini untuk mengatasi masalah limbah baterai lithium-ion NMC sehingga dapat mengurangi limbah baterai serta penerapan teknologi daur ulang baterai menjadi teknologi berkelanjutan yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfarisa, S., Rifai, D. A. dan Toruan, P. L., 2018. *Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO)*. Risalah Fisika, 2(2), pp. 53–57.
- Archer, M., McCrindle, R. I. dan Rohwer, E. R., 2003. *Analysis Of Cobalt, Tantalum, Titanium, Vanadium And Chromium In Tungsten Carbide By Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*. J. Anal. At. Spectrom pp. 1493–1496. doi: 10.1039/b310482f.
- Balfas, A., Irmansyah., Nikmatin, S. dan Sukarto, S., 2016. *Pengaruh Milling Terhadap Karakteristik Nanopartikel Biomassa Rotan*. Jurnal Keteknikaan Pertanian, 4(1), pp. 81-86.
- Chen, L., Tang, X., Zhang, Y., Li, L., Zeng, Z. dan Zhang, Y., 2011. *Process for the recovery of cobalt oxalate from spent lithium-ion batteries*. Hydrometallurgy, 108(1–2), pp. 80–86. doi: 10.1016/j.hydromet.2011.02.010.
- Chen, W. S. dan Ho, H. J., 2018. *Recovery of valuable metals from lithium-ion batteries NMC cathode waste materials by hydrometallurgical methods*. Metals, 8(5). doi: 10.3390/met8050321.
- Chen, X. dan Zhou, T., 2014. *Hydrometallurgical process for the recovery of metal values from spent lithium-ion batteries in citric acid media*. Waste Management & Research, 32(11), pp. 1083-1093. doi: 10.1177/0734242X14557380.
- Chen, X., Luo, C., Zhang, J., Kong, J. dan Zhou, T., 2015. *Sustainable Recovery of Metals from Spent Lithium-Ion Batteries: A Green Process*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3, 3104-3113. doi: 10.1021/acssuschemeng.5b01000.
- Cullity, B. D., dan Stock, S. R., 2014. *Elements of X-Ray Diffraction Third Edition*. Pearson Education limited, 2014.
- Dunn, J. B., Gaines, L., Sullivan, J. dan Wang, M. Q., 2012. *Impact of recycling on cradle-to-gate energy consumption and greenhouse gas emissions of automotive*

- lithium-ion batteries*. Environmental Science and Technology, 46(22), pp. 12704–12710. doi: 10.1021/es302420z.
- Fan X., Xing, W., Dong, H., Zhao, J., Wu, Y., Li, B., Tong, W. dan Wu, X., 2013. *Factors Research on the Influence of Leaching Rate of Nickel and Cobalt from Waste Superalloys with Sulfuric Acid*. International Journal of Nonferrous Metallurgy, 2, pp. 63-67.
- Gaines, L., 2018. *Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course*. Sustainable Materials and Technologies, 17, p. e00068. doi: 10.1016/j.susmat.2018.e00068.
- Indrawijaya, B., Oktavia, H. dan Cahyani, W. E., 2019. *Penentuan Kadar Logam Berat (As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Sb, Se) Pada Mainan Anak Dengan Metode SNI ISO 8124-3:2010 Menggunakan ICP-OES*. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 3(2), pp. 87-94.
- Jha, M. K., Kumari, A., Jha, A. K., Kumar, V., Hait, J. dan Pandey, B. D., 2013. *Recovery of lithium and cobalt from waste lithium ion batteries of mobile phone*. Waste Management, 33(9), pp. 1890–1897. doi: 10.1016/j.wasman.2013.05.008.
- Kundari, N. A., Prassanti, R. dan Giezzella, 2016. *Ekstraksi dan Stripping Uranium Hasil Pelarutan Total Monasit Bangka*. Jurnal Forum Nuklir, 10(1), pp. 12-125.
- Kurniasih, E., 2020. *Merancang Energi Masa Depan Dengan Biodiesel*. Yogyakarta: ANDI.
- Langklotz, U., Schneider, M. dan Michaelis, A., 2013. *Water Uptake of Tape-Cast for Lithium Ion Batteries*. Journal of Ceramic Science and Technology, 4(2), pp. 69–76.
- Li, L., Dunn, J. B., Zhang, X. X., Gaines, L., Chen, R. J., Wu, F. dan Amine, K., 2013. *Recovery of metals from spent lithium-ion batteries with organic acids as leaching reagents and environmental assessment*. Journal of Power Sources, 233, pp. 180–189. doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.12.089.

- Meng, F., Liu, Q., Kim, R., Wang, J., Liu, G. dan Ghahreman, A., 2020. *Selective recovery of valuable metals from industrial waste lithium-ion batteries using citric acid under reductive conditions: Leaching optimization and kinetic analysis*. Hydrometallurgy, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105160>.
- Nasir, S., Fitriyanti, dan Kamila, H., 2009. *Ekstraksi Dedak Padi Menjadi Minyak Mentah Dedak Padi (Crude Rice Bran Oil) Dengan Pelarut N-Hexane Dan Ethanol*. Jurnal Teknik Kimia, 16(2), pp. 1-10.
- Nisa, N. I. F., Altway, A. dan Susianto, 2019. *Simulasi Unit Stripping CO₂ Dalam Packed Column Skala Industri Dengan Kondisi Non-Isothermal*. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, 14(1), pp. 53–62. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13547>.
- Nshizirungu, T., Rana, M., Jo, Y. dan Park, J., 2020. *Rapid leaching and recovery of valuable metals from spent Lithium Ion batteries (LIBs) via environmentally benign subcritical nickel-containing water over chlorinated polyvinyl chloride*. Journal of Hazardous Materials, 396 (April), p. 122667. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122667.
- Ordoñez, J., Gago, E. J. dan Girard, A., 2016. *Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, pp. 195–205. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.363.
- Parikin, Dani, M., Sugeng, B., Purnamasari, N. D., Ahda, S. dan Sukaryo, S. G., 2018. *Pengkajian Struktur Kristal Baja Superalloy Tipe F1, A2 Dan A2-Aps*. M.I.P.I. 12(3), pp. 135-144.
- Park, K. H., Kim, H. I., Parhi, P. K., Mishra, D., Nam, C. W., Park, J. T. dan Kim, D. J., 2012. *Extraction of metals from Mo-Ni/Al₂O₃ spent catalyst using H₂SO₄ baking-leaching-solvent extraction technique*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 18 (2036-2045).
- Pirdaus, P., Rahman, M., Rinawati, Juliasih, N. L. G. R., Pratama, D. dan Kiswandono, A. A., 2018. *Verifikasi Metode Analisis Logam Pb , Cd , Cr , Cu , Ni , Co , Fe ,*

- Mn Dan Ba Pada Air Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)*. Analytical Environmental Chemistry, 3(1), pp. 1–10.
- Prayudo, A. N., Novian, O., Setyadi, dan Antaresti, 2015. *Koefisien Transfer Massa Kurkumin Dari Temulawak*. Jurnal Ilmiah Widya Teknik, 14(1), pp. 26-31.
- Ramlan, Ginting, M., Muljadi. dan Sebayang, P., 2007. *Pembuatan Keramik Beta Alumina ($Na_2O - Al_2O_3$) Dengan Aditif MgO Dan Karakterisasi Sifat Fisis Serta Struktur Kristalnya*. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia, 7(1), pp. 10–15.
- Rofika, F. dan Rachmanto, T. A., 2018. *Proses Hidrometalurgi Menggunakan Pelarut Aqua Regia Pada Recovery Logam Emas (Au) Limbah Elektronik Pcb HP*. Jurnal Envirotek, 9(1), pp. 63–68. doi: 10.33005/envirotek.v9i1.1045.
- Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, A. H. dan Hidayat, S., 2016. *Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai $LiFePO_4$* . Jurnal Material dan Energi Indonesia, 6(2) ,pp. 43–48. <http://jurnal.unpad.ac.id/jmei/article/view/10959/5163>.
- Sinha, M. K. dan Purcell, W., 2019. *Reducing agents in the leaching of manganese ores: A comprehensive review*. Hydrometallurgy (187), pp. 168-186.
- Sumadiyasa, M. dan Manuaba, I. B. S., 2018. *Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williansom-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM*. Buletin Fisika, 19(1), pp. 28-35. doi: 10.24843/bf.2018.v19.i01.p06.
- Thomas, R., 2004. *Practical Guide to ICP-MS*. Marcel Dekker.
- Vignes, A., 2013. *Extractive Metallurgy 2: Metallurgical Reaction Processes*. John Wiley & Sons.
- Wanta,C., Petrus, H. T. B. M., Perdana, I. dan Astuti, W., 2017. *Uji Validitas Model Shrinking Core Terhadap Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat dalam Proses Leaching Nikel Laterit*. Jurnal Rekayasa Proses, 11(1), pp. 30-35.
- Yuliusman, 2016. *Pengembalian Kembali Logam Litium dan Cobalt dari Baterai Li-Ion dengan Metode Leaching Asam Sitrat*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia

"Kejuangan", ISSN 1693-4393.

- Yuliusman, 2016. *Recovery Logam Nikel dari Spent Katalis NiO/Al₂O₃ Dengan Teknologi Leaching Menggunakan Amonia-Amonium Karbonat*. Jurnal MIPA. 39(2), pp. 143-149.
- Zeng, X., Li, J. dan Singh, N., 2014. *Recycling of spent lithium-ion battery: A critical review*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 44(10), pp. 1129–1165. doi: 10.1080/10643389.2013.763578.
- Zhang, X., Xie, Y., Cao, H., Nawaz, F. dan Zhang, Y., 2014. *A novel process for recycling and resynthesizing LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ from the cathode scraps intended for lithium-ion batteries*. Waste Management, 34(9), pp. 1715–1724. doi: 10.1016/j.wasman.2014.05.023.
- Zhuang, L., Sun, C., Zhou, T., Li, H. dan Dai, A., 2019. *Recovery of valuable metals from LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂ cathode materials of spent Li-ion batteries using mild mixed acid as leachant*. Waste Management, 85, pp. 175–185. doi: 10.1016/j.wasman.2018.12.034.