

**PEMBUATAN MATERIAL KATODA *NICKEL MANGANESE*
COBALT (NMC) DARI LARUTAN PREKURSOR DAN
LEACHATE BATERAI BEKAS DENGAN METODE *FLAME*
*ASSISTED SPRAY PYROLYSIS***

SKRIPSI

Oleh:

**AAN SYAIFULLOH
116180031**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2022**

**PEMBUATAN MATERIAL KATODA *NICKEL MANGANESE*
COBALT (NMC) DARI LARUTAN PREKURSOR DAN
LEACHATE BATERAI BEKAS DENGAN METODE *FLAME*
*ASSISTED SPRAY PYROLYSIS***

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Oleh:

**AAN SYAIFULLOH
116180031**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2022**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PEMBUATAN MATERIAL KATODA *NICKEL MANGANESE
COBALT* (NMC) DARI LARUTAN PREKURSOR DAN
LEACHATE BATERAI BEKAS DENGAN METODE *FLAME
ASSISTED SPRAY PYROLYSIS***

Oleh:

**AAN SYAIFULLOH
116180031**



Disetujui untuk
Program Studi Teknik Metalurgi
Jurusan Teknik Pertambangan
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Tanggal,

Pembimbing I



Ir. Sudaryanto, M.T.
NIP. 19600825 199103 1 001

Pembimbing II



Ir. Dyah Probowati, M.T.
NIP. 19601029 199009 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMBUATAN MATERIAL KATODA *NICKEL MANGANESE
COBALT* (NMC) DARI LARUTAN PREKURSOR DAN
LEACHATE BATERAI BEKAS DENGAN METODE *FLAME
ASSISTED SPRAY PYROLYSIS***

Oleh:

**AAN SYAIFULLOH
116180031**

Telah dipertahankan didepan Penguji Ujian Akhir Program Studi
Program Studi Teknik Metalurgi
Jurusan Teknik Pertambangan
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Penguji:

1. Ir. Untung Sukamto, M.T
(Ketua Penguji)

2. Ir. Dyah Probowati, M.T.
(Anggota Penguji)

3. Ir. Sudaryanto, M.T.
(Anggota Penguji)

4. Tri Wahyuningsih S.T., M.T
(Anggota Penguji)

.....

.....

.....

.....

ABSTRAK

Proses daur ulang baterai bekas dan *recovery* ion logam pada katoda menjadi salah satu proses efektif untuk menekan angka limbah baterai yang menjadi masalah serius karena mengandung zat berbahaya dan sifatnya yang beracun bagi lingkungan. Pada penelitian ini, daur ulang katoda baterai bekas melibatkan proses *pre-treatment*, *hydrometallurgy*, *molarity adjustment*, dan sintesis dengan metode *flame assisted spray pyrolysis*. Penelitian ini bertujuan untuk sintesis nanopartikel katoda baterai dari *leachate* baterai bekas menggunakan asam anorganik dan organik.

Proses *pre-treatment* baterai diawali dengan *discharge*, *dismantling*, *separation* katoda, kominusi, *sieving*, dan *heat treatment* (kalsinasi) guna menghilangkan pengikat (*binder*). *Recovery* ion logam Li, Ni, Mn, dan Co memanfaatkan ekstraksi dengan metode *hydrometallurgy* (*leaching*) dengan variasi jenis asam (HNO₃ dan CH₃COOH), konsentrasi asam (0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 M), *solid to liquid ratio* (10; 15; 20; 25; 30 g/L) dan temperatur *leaching* (40; 50; 60; 70; 80°C) untuk menemukan parameter optimum pada *leaching* asam anorganik dan organik. Hidrogen peroksida (H₂O₂) 1,7% volume pada *leaching* HNO₃ dan 4% volume pada *leaching* CH₃COOH digunakan sebagai oksidator yang efektif meningkatkan efisiensi *leaching*. Kondisi optimum *leaching* anorganik (HNO₃) didapatkan pada 0,75M HNO₃ + 1,7% volume H₂O₂, *solid to liquid ratio* 20 gr/L, dan temperatur 60°C dengan % *recovery* mencapai 83%; 71,15%; 85,82%; dan 99,76% untuk logam Li, Ni, Mn dan Co secara berurutan. Sedangkan kondisi optimum *leaching* organik (CH₃COOH) didapatkan pada 1,25M CH₃COOH + 4% volume H₂O₂, *solid to liquid ratio* 30 gr/L, dan temperatur 70°C dengan % *recovery* mencapai 87,16%; 64,34%; 82,89%; dan 99,24% untuk logam Li, Ni, Mn dan Co secara berurutan.

Molarity adjustment dilakukan pada *leachate* baterai bekas untuk mendapatkan komposisi katoda Li(Ni_{0,3}Mn_{0,3}Co_{0,3})O₂. Pada penelitian ini digunakan *flame assisted spray pyrolysis* untuk sintesis larutan prekursor komersial dan *leachate* baterai bekas dengan HNO₃ dan CH₃COOH. Hasil XRD menunjukkan dengan perlakuan kalsinasi pada suhu 800°C selama 6 jam katoda hasil sintesis dengan metode FASP memiliki tingkat kristalisasi yang baik tanpa terdeteksi *impurities*. Morfologi bentuk dan ukuran partikel diteliti dengan pengujian SEM-EDX dan PSA mengungkapkan bahwa sintesis nanopartikel dengan metode *flame assisted spray pyrolysis* menunjukkan morfologi bentuk bola dengan agregat polikristalin yang khas dan memiliki distribusi ukuran partikel pada rentang 200-400 nm.

Kata Kunci: *Flame Assisted Spray Pyrolysis, Leaching, Recovery, Baterai NMC bekas.*

ABSTRACT

Spent used battery recycling process and metal ion recovery on the cathode become one of the effective processes to reduce the number of battery waste which is a serious problem because it contains hazardous substances and its toxic nature to the environment. In this study, spent used battery cathode recycling involved pre-treatment, hydrometallurgy, molarity adjustment, and synthesis with the flame assisted spray pyrolysis method. This study aims to synthesis of battery cathode nanoparticles from. This study aims to synthesise battery cathode nanoparticles from leachate spent used batteries using inorganic and organic acids.

Battery pre-treatment process begins with discharge, dismantling, cathode separation, comminution, sieving, and heat treatment (calcination) to remove binders. Recovery of metal ions Li, Ni, Mn, dan Co with extraction by hydrometallurgical method (leaching) with various types of acid (HNO₃ and CH₃COOH), acid concentration (0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 M), solid to liquid ratio (10; 15; 20; 25; 30 g/L) dan leaching temperature (40; 50; 60; 70; 80°C) to find the optimum parameters for inorganic dan organic acid leaching. Hydrogen peroxide (H₂O₂) 1.7% by volume in HNO₃ leaching dan 4% by volume in CH₃COOH leaching was used as an effective oxidizing agent to increase leaching efficiency. The optimum condition of inorganic leaching (HNO₃) was found at 0,75M HNO₃ + 1.7% by volume H₂O₂, solid to liquid ratio of 20gr/L, dan temperature of 60°C with %recovery reaching 83%; 71,15%; 85,82%; dan 99,76% for Li, Ni, Mn dan Co metals, respectively. While the optimum conditions for organic leaching (CH₃COOH) were found at 1,25M CH₃COOH + 4% volume H₂O₂, solid to liquid ratio 30gr/L, dan temperature 70°C with % recovery reaching 87,16%; 64,34%; 82,89%; dan 99,24% for Li, Ni, Mn and Co metals, respectively.

Molarity adjustment was carried out on the spent used battery leachate to obtain the cathode composition of Li(Ni_{0,3}Mn_{0,3}Co_{0,3})O₂. In this study, flame-assisted spray pyrolysis was used for the synthesis of commercial precursor solutions and spent used battery leachate with HNO₃ and CH₃COOH. XRD results showed that the calcination at 800°C for 6 hours affect the cathode that synthesized by FASP method had a good crystallization rate without detecting impurities. The morphology of the shape and size studied by SEM-EDX and PSA tests revealed that the synthesis of nanoparticles by the flame assisted spray pyrolysis method showed a spherical morphology with typical polycrystalline aggregates and had a particle size distribution in the range of 200-400nm.

Keywords: *Flame Assisted Spray Pyrolysis, Leaching, Recovery, Spent NMC Batteries.*

HALAMAN PERSEMBAHAN

أَقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ① خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ② أَقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ③

الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ④ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ⑤

(1) Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang Menciptakan (2) Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. (3) Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah, (4) Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan qalam. (5) Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya. (Q.S. al-‘Alaq/96:1-5)

Untuk Bapak Anwarruddien dan Ibu Subiyanti
Ilma Fatiha dan Ali Syaifuddien
untuk semua orang baik yang telah Allah hadirkan di kehidupan saya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayat-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Maret – Juli 2022 di Laboratorium Pusat Riset Material Maju - Badan Riset Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Irhas Effendi, M.Si, Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. Sutarto, MT., Dekan Fakultas Teknologi Mineral.
3. Bapak Dr. Ir. Eddy Winarno, S.Si, M.T., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan.
4. Bapak Agris Setiawan, S.Pd.T., M.Eng., Koordinator Prodi Teknik Metalurgi.
5. Bapak Ir. Sudaryanto, M.T., Dosen Wali sekaligus Dosen Pembimbing I.
6. Ibu Ir. Dyah Probowati, M.T., Dosen Pembimbing II.
7. Dr. Sri Rahayu S.T, M.T., selaku pembimbing lapangan.
8. Dosen-dosen Program Studi Metalurgi UPN “Veteran” Yogyakarta.
9. Orang tua, keluarga, dan teman-teman penulis yang senantiasa memberi semangat, nasehat, dan dukungan selama penulis mengerjakan tugas akhir.

Penulis berharap skripsi ini dapat berguna khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi kemajuan negara dibidang ilmu dan pengetahuan metalurgi dan material.

Yogyakarta, 30 Agustus 2022

Penyusun

Aan Syaifulloh
NIM 116180031

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB	
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Komponen Baterai Ion <i>Lithium</i>	6
2.2. Jenis Baterai Ion <i>Lithium</i>	16
2.3. <i>Pretreatment Spent Battery</i>	22
2.4. <i>Recovery Material Katoda Bekas</i>	26
2.5. Regenerasi Material Katoda	31
2.6. Karakterisasi dan Analisis Material.....	37
III METODE PENELITIAN.....	46
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	46
3.2. Alat dan Bahan Pembuatan Katoda NMC.....	46
3.3. Diagram Alir Penelitian	48
3.4. Tahapan Penelitian	49

IV HASIL PENELITIAN	56
4.1. Hasil Percobaan	56
4.2. Hasil Uji TGA Katoda LIB Bekas	61
4.3. Hasil Uji XRD dan AAS Katoda LIB Bekas	62
4.4. Hasil Uji AAS Filtrat dan Residu <i>Leaching</i> HNO ₃	63
4.5. Hasil Uji ICP-OES Filtrat <i>Leaching</i> CH ₃ COOH	65
4.6. Hasil Uji ICP-OES Filtrat <i>Leaching</i> Optimum HNO ₃ dan CH ₃ COOH	65
4.7. Hasil Uji XRD Sintesis Katoda Metode <i>Flame Assisted Spray</i> <i>Pyrolysis</i>	66
4.8. Hasil Uji PSA Sintesis Katoda Metode <i>Flame Assisted Spray</i> <i>Pyrolysis</i>	67
4.9. Hasil Uji SEM-EDX Sintesis Katoda Metode <i>Flame Assisted</i> <i>Spray Pyrolysis</i>	68
V PEMBAHASAN	73
5.1. Proses <i>Pre-treatment</i> Baterai NMC Bekas	73
5.2. <i>Leaching</i> Selektif Ion Logam	76
5.3. Regenerasi Baterai <i>Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide</i> (NMC)	82
5.4. Rancangan Rute Daur Ulang Katoda Baterai <i>Lithium</i> Bekas	92
VI KESIMPULAN DAN SARAN	94
6.1. Kesimpulan	94
6.2. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Komponen Utama Baterai Ion <i>Lithium</i>	7
2.2 Reaksi Redoks LIB	7
2.3 Struktur Kristal LiMO_2 Berlapis (biru: ion logam transisi; merah: ion Li)	8
2.4 Struktur Kristal Spinel LiM_2O_4 (biru: ion logam transisi; merah: ion Li)	9
2.5 Struktur Kristal Olivin LiMPO_4 (biru: ion logam transisi; kuning: ion P; merah: ion Li).....	9
2.6 Peran Elektrolit dalam Sel <i>Lithium-ion</i>	13
2.7 Struktur Atom pada Baterai NMC	21
2.8 Skema Metode Sintesis baterai NMC: (a) <i>Co-Precipitation</i> , (b) <i>Solid-state Reaction</i> , (c) <i>Spray Pyrolysis</i>	31
2.9 Skema Proses Pembuatan Nanopartikel yang terjadi di Reaktor	34
2.10 Pengaruh Temperatur Api Terhadap Ukuran Partikel Nanosilika	35
2.11 Pengaruh Konsentrasi Prekursor Terhadap Ukuran Partikel Nanosilika	36
2.12 Pengaruh Waktu Kontak dengan Api Melalui Variasi Laju Aliran <i>Fuel</i> , <i>Oxidizer</i> , dan <i>Carrier Gas</i> Terhadap Ukuran Partikel <i>Hydroxyapatite</i>	36
2.13 Diagram Skema Sistem Difraktometer	39
2.14 Prinsip Kerja Alat <i>Atomic Absorption Spectrometer</i>	41
2.15 Prinsip dan Komponen Utama dari Instrumen ICP-OES.....	43
3.1 Diagram Alir Penelitian	48
4.1 Proses Pengosongan Muatan LIB Bekas dengan RIGOL DL 3021	56
4.2 Skema <i>Dismantling</i> LIB Bekas secara Manual.....	57
4.3 Proses Kalsinasi Material Aktif Katoda dengan <i>Muffle Furnace</i>	58
4.4 Material Aktif Katoda (a) Setelah Kalsinasi (b) <i>Sieving</i> 400mesh (c) Setelah <i>Sieving</i>	58
4.5 (a) Proses <i>Leaching</i> Katoda LIB (b) Filtrat <i>leaching</i> (c) Residu <i>Leaching</i>	59
4.6 <i>Co(ii) nitrate hexahydrate</i> sebagai Bahan Penambah Mol Metal Co	60
4.7 Proses FASP (a) sebelum <i>Spray</i> Larutan Prekursor (<i>feed</i>) (b) setelah <i>Spray</i> .	61
4.8 Kurva TG, dTG, HF, dan dHF Dekomposisi Termal Katoda LIB Bekas.....	62
4.9 Hasil interpretasi XRD Katoda LIB Bekas	63

4.10 Kurva XRD Material NMC Warna Coklat dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor (1) AA Komersil, (3) NA Komersil, (5) AA LIB's, dan (7) NA LIB's dengan Kalsinasi	67
4.11 Kurva XRD Material NMC Warna Hitam dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor (2) AA Komersil, (4) NA Komersil, (6) AA LIB's, dan (8) NA LIB's tanpa Kalsinasi	67
4.12 Hasil Uji SEM sampel (2) AA Komersil	69
4.13 Hasil Uji EDX elemen sampel (2) AA Komersial	69
4.14 Hasil Uji SEM sampel (4) NA Komersil	70
4.15 Hasil Uji EDX elemen sampel (4) NA Komersial	70
4. 16 Hasil Uji SEM sampel (6) AA LIB's	71
4.17 Hasil Uji EDX elemen sampel (6) AA LIB's	71
4.18 Hasil Uji SEM sampel (8) NA LIB's	72
4.19 Hasil Uji EDX elemen sampel (8) NA LIB's	72
5.1 Kurva TG Material Katoda LIB Bekas	73
5.2 Pola XRD Katoda dan Anoda LIB Bekas setelah Kalsinasi	75
5.3 Efisiensi <i>Leaching</i> HNO ₃ Li, Ni, Mn, dan Co pada Konsentrasi Asam Nitrat yang berbeda	76
5.4 Efisiensi <i>Leaching</i> HNO ₃ Li, Ni, Mn, dan Co pada <i>Solid to Liquid Ratio</i> yang berbeda	77
5.5 Efisiensi <i>Leaching</i> HNO ₃ Li, Ni, Mn, dan Co pada Temperatur yang berbeda	78
5.6 Efisiensi <i>Leaching</i> CH ₃ COOH Li, Ni, Mn, dan Co pada Konsentrasi Asam Asetat yang berbeda	79
5.7 Efisiensi <i>Leaching</i> CH ₃ COOH Li, Ni, Mn, dan Co pada <i>Solid to Liquid Ratio</i> yang berbeda	80
5.8 Efisiensi <i>leaching</i> CH ₃ COOH Li, Ni, Mn, dan Co pada Temperatur yang berbeda	81
5.9 Perbandingan Hasil Karakterisasi XRD pada Katoda NMC FASP dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor dengan Kalsinasi	83
5.10 Perbandingan Hasil Karakterisasi XRD pada Katoda NMC FASP dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor tanpa Kalsinasi	83
5.11 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (1) AA Komersil	85
5.12 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (3) NA Komersil	85
5.13 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (5) AA LIB's	85
5.14 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (7) NA LIB's	86

5.15 Perbandingan dari Masa EDX Terhitung untuk Li(Ni _{1/3} Mn _{1/3} Co _{1/3})O ₂ (111)	87
5.16 Distribusi Ukuran Partikel (1) AA Komersil	88
5.17 Distribusi Ukuran Partikel (2) AA Komersil	89
5.18 Distribusi Ukuran Partikel (3) NA Komersil	89
5.19 Distribusi Ukuran Partikel (4) NA Komersil	90
5.20 Distribusi Ukuran Partikel (5) AA LIB's	90
5.21 Distribusi Ukuran Partikel (6) AA LIB's	91
5.22 Distribusi Ukuran Partikel (7) NA LIB's	91
5.23 Distribusi Ukuran Partikel (8) NA LIB's	92
5.24 Alur Proses Daur Ulang Katoda Baterai <i>Lithium</i> dengan Metode FASP	93

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Energi spesifik dari berbagai bahan anoda.....	12
2.2 Perbandingan LIB yang paling umum tersedia secara komersial	17
2.3 Reaksi elektrokimia baterai <i>Lithium Iron Phosphate</i> (LFP).....	18
2.4 Reaksi elektrokimia baterai <i>Lithium Cobalt Oxide</i> (LCO)	19
2.5 Reaksi elektrokimia baterai <i>Lithium Manganese Oxide</i> (LMO).....	19
2.6 Reaksi elektrokimia baterai <i>Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide</i> (NCA).....	20
2.7 Reaksi elektrokimia baterai <i>Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide</i> (NMC).....	21
2.8 Ringkasan Proses <i>Leaching</i> untuk Daur Ulang Katoda Bekas LIB.....	29
3.1 Agenda Kegiatan Penelitian.....	46
3.2 Parameter Operasi <i>Leaching</i> Katoda LIB Bekas dengan HNO ₃ dan CH ₃ COOH	50
4.1 Parameter Operasi <i>Leaching</i> Katoda LIB Bekas dengan HNO ₃ dan CH ₃ COOH	59
4.2 Komposisi elemen material katoda LIB bekas setelah kalsinasi	63
4.3 Komposisi elemen filtrat pada variasi <i>leaching</i> HNO ₃	64
4.4 Komposisi elemen residu pada variasi <i>leaching</i> HNO ₃	64
4.5 Komposisi elemen filtrat pada variasi <i>leaching</i> CH ₃ COOH.....	65
4.6 Komposisi elemen filtrat pada <i>leaching</i> optimum	66
4.7 Rata-rata ukuran partikel material katoda NMC hasil FASP.....	68
5.1 Komposisi Elemen Material Katoda LIB Bekas.....	74
5.2 <i>Refined lattice parameters</i> Katoda NMC FASP	84
A.1 Hasil Pengujian ICP-OES <i>Leaching</i> dengan Asam Asetat	105
B.1 Hasil Perhitungan % Efisiensi <i>Leaching</i> HNO ₃ Variasi Konsentrasi Asam.....	189
B.2 Hasil Perhitungan % Efisiensi <i>Leaching</i> HNO ₃ Variasi Solid to Liquid ratio.....	190
B.3 Hasil Perhitungan % Efisiensi <i>Leaching</i> HNO ₃ Variasi Temperatur.....	190

B.4 Hasil Perhitungan % Efisiensi Leaching CH ₃ COOH Variasi Konsentrasi Asam.....	191
B.5 Hasil Perhitungan % Efisiensi Leaching CH ₃ COOH Variasi Solid to Liquid ratio.....	191
B.6 Hasil Perhitungan % Efisiensi Leaching CH ₃ COOH Variasi Temperatur.....	192
B.7 Rangkuman Molarity Adjustment Leaching Optimum Nitric Acid.....	192
B.8 Rangkuman Molarity Adjustment Leaching Optimum Acetic Acid.....	193
C.1 Alat Penelitian	194
C.2 Bahan Penelitian.....	197
C.3 Proses dan Hasil Penelitian	199

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
A HASIL PENGUJIAN	105
B PERHITUNGAN.....	188
C DOKUMENTASI PENELITIAN	194
D <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i> (MSDS).....	202

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baterai *lithium-ion* (LIB) telah banyak digunakan dalam peralatan portabel, seperti perangkat seluler (misalnya iPad, iPhone), komputer pribadi dan kamera video. Baterai juga dipakai di barang-barang yang ada di rumah seperti remote televisi, lampu *emergency*, dan senter. Kendaraan hibrida (*Hybrid Electric Vehicle* – HEV) dan kendaraan listrik (*Electric Vehicle*), perangkat medis serta peralatan kehidupan modern lainnya juga memanfaatkan baterai dalam pengoperasiannya. Meningkatnya kekhawatiran akan ketergantungan bahan bakar fosil dan dampak lingkungannya, energi alternatif telah menjadi perhatian besar. Namun, sistem energi alternatif seperti matahari, angin, dan air seringkali membutuhkan baterai yang efisien untuk menyimpan energinya. Karakteristik yang diinginkan seperti ukuran kecil dan beratnya yang ringan, tegangan sel yang tinggi, tingkat *self-discharge* yang rendah dan kepadatan energi yang tinggi dapat menjadikan LIB sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan yang saat ini berat pada sumber daya bahan bakar fosil (Braun dan Lange, 2012; Chen dkk., 2015).

Ada beberapa jenis baterai yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Kedua baterai tersebut memiliki sifat yang sama yaitu mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang (*Rechargeable Battery*) misal baterai telepon genggam. Baterai primer adalah baterai yang bersifat *disposable*/sekali pakai (Nasution, 2021). Baterai *lithium-ion* (LIB) adalah jenis baterai isi ulang yang canggih. Ion *lithium* bergerak dari elektroda negatif melalui elektrolit ke elektroda positif selama pengosongan, dan kembali saat pengisian. Saat ini, elektroda negatif dari sel *lithium-ion* komersial biasanya terbuat dari grafit. Elektroda positif adalah oksida logam *lithium*, misalnya LiCoO_2 (LCO), $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ (NMC), LiMn_2O_4 (LMO) atau LiFePO_4 (LFP), dan elektrolitnya adalah garam *lithium* (misalnya

LiPF₆) yang dilarutkan dalam pelarut organik (misalnya *ethylene carbonate* (EC), *dimethyl carbonate* (DMC), *diethyl carbonate* (DEC), *ethyl methyl carbonate* (EMC), atau *propylene carbonate* (PC) (Sojka, Pan dan Billmann, 2020).

Baterai *lithium nickel manganese cobalt* (NMC) banyak digunakan sebagai catu daya (*power supply*) elektrokimia karena fitur unggulannya dimana strukturnya yang dapat disesuaikan dengan tujuan penggunaan dari baterai itu sendiri, misalnya untuk mendapatkan kapasitas spesifik yang tinggi tinggi, selain itu baterai NMC juga memiliki fitur unggulan lain yakni keamanannya yang tinggi serta biaya produksi rendah (Batteries dan Fowler, 2021). Menurut *International Energy Agency* (IEA) konsumsi baterai yang digunakan untuk stok *Electric Vehicle* secara global (tidak termasuk kendaraan roda dua/tiga) akan terus meningkat, meningkat dari sekitar 8 juta pada 2019 menjadi 50 juta pada 2025 dan mendekati 140 juta pada 2030, peningkatan ini sesuai dengan tingkat pertumbuhan rata-rata tahunan mendekati 30% (Yu dkk., 2022). LIB bekas mengandung unsur logam berat, seperti *nickel* (Ni) dan *cobalt* (Co), yang tergolong bahan karsinogenik dan mutagenik, serta elektrolit organik beracun, yang berdampak buruk bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Sebagai bahan baku penting untuk sintesis bahan katoda LIB, Li dan Co lebih diminati daripada logam lain karena kelimpahannya yang relatif rendah dan harganya yang mahal. Jika logam beracun dan zat berbahaya lainnya tidak dapat dibuang dengan benar, hal tersebut tidak hanya akan menyebabkan pemborosan sumber daya tetapi juga membahayakan lingkungan. Mempertimbangkan kebutuhan untuk penggunaan sumber daya yang terbatas ini secara efektif dan kelestarian lingkungan, LIB yang digunakan harus ditangani dan didaur ulang dengan benar (Fan dkk., 2020). Karena LIB adalah produk yang kompleks, banyak skema daur ulang yang dapat dilakukan. Ada tiga jenis proses dasar: pirometalurgi (peleburan), hidrometalurgi (*leaching*), dan daur ulang langsung (proses fisik). Ketiga proses dasar tersebut dapat dilakukan setelah dilakukan pelepasan dan pembongkaran baterai, serta pemisahan bahan elektroda pada LIB bekas. Komponen proses dapat digabungkan dengan cara yang berbeda, tergantung pada faktor-faktor seperti kuantitas dan karakteristik material yang

tersedia serta kuantitas dan nilai material yang dapat diperoleh kembali (Gaines, 2018).

Baterai NMC tersusun atas beberapa komponen senyawa yaitu *nickel*, *manganese*, *cobalt*, *lithium*. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mensintesis katoda NMC, diantaranya meliputi sintesis kimia padat (*Solid State Reaction*), metode sol-gel, kristalisasi, dan teknologi *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Metode ini dipilih karena proses sintesisnya berlangsung cepat, tidak memerlukan waktu *sintering* yang lama. Pada penelitian ini digunakan asam asetat dan asam nitrat sebagai larutan prekursor.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengaruh perbedaan molaritas larutan asam, temperatur *leaching*, dan *solid to liquid ratio* (S/L) terhadap efisiensi *leaching* material NMC. Serta pengaruh penggunaan asam asetat dan asam nitrat sebagai larutan prekursor terhadap struktur material dan performa elektrokimia NMC.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat disusun dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh proses *pre-treatment* pada katoda LIB bekas terhadap komposisi katoda LIB bekas sebagai *feed* proses *leaching* material NMC?
2. Bagaimana pengaruh molaritas larutan asam, temperatur *leaching*, dan *solid to liquid ratio* (S/L) terhadap efisiensi *leaching* material NMC?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan asam asetat dan asam nitrat sebagai larutan prekursor terhadap struktur material NMC?
4. Bagaimana cara sintesis material katoda NMC dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP) dari baterai bekas?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh proses *pre-treatment* pada katoda LIB bekas terhadap komposisi katoda LIB bekas sebagai *feed* proses *leaching* material NMC.
2. Mengetahui dan menentukan kondisi optimum *leaching* material NMC dengan pengaruh molaritas larutan asam, temperatur *leaching*, dan *solid to liquid ratio* (S/L).
3. Menganalisis pengaruh penggunaan asam asetat dan asam nitrat sebagai larutan prekursor terhadap struktur material NMC.
4. Merancang rute sintesis katoda NMC dari baterai bekas dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP).

1.4. Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material dasar katoda NMC yang digunakan dalam penelitian ini adalah *lithium carbonate* (Li_2CO_3), *Cobalt (II) nitrate hexahydrate* ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan baterai NMC bekas.
2. Variabel bebas pada penelitian ini berupa konsentrasi *leaching*, temperatur *leaching* dan *solid to liquid ratio* (S/L) pada *leaching* katoda bekas. Serta jenis larutan prekursor pada *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP).
3. Variabel tetap pada penelitian ini adalah konsentrasi oksidator H_2O_2 1,7% volume pada *leaching* HNO_3 dan 4% volume pada *leaching* CH_3COOH , waktu *leaching* 1 jam, dan kecepatan agitasi 400 rpm.
4. Pembuatan katoda NMC menggunakan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP).
5. Pengujian bahan katoda dilakukan dengan AAS, ICP-OES, TGA, XRD, SEM-EDX, serta PSA.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan informasi perkembangan terikini *direct recycling* baterai bekas menggunakan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP) selain itu penelitian dapat memberikan informasi proses recovery ion logam Li, Ni, Mn, dan Co pada limbah baterai NMC dengan metode hidrometalurgi. Selain itu penelitian ini juga mengincar hak paten rangkaian alat *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP) dan hak paten proses alur produksi katoda baterai menggunakan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP).

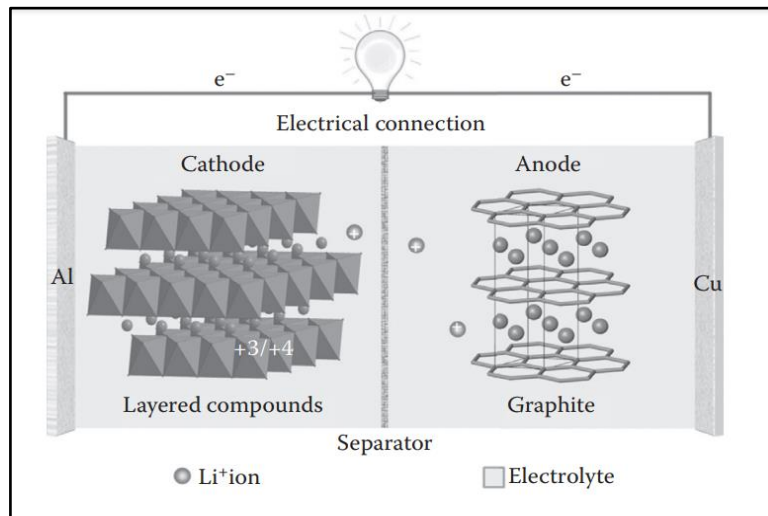
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komponen Baterai Ion *Lithium*

Pada umumnya baterai ion *lithium* (LIB) merujuk pada baterai isi ulang dimana energinya tersimpan secara kimia melalui reaksi redoks yang memanfaatkan interkalasi *lithium* antara elektroda positif (katoda) dan elektroda negatif (anoda) yakni ketika baterai mengalami proses *charging* dan *discharging*, ion *lithium* bergerak secara bolak-balik antara katoda ke anoda (Rushendra Paravasthu, 2012). Penelitian dan pengembangan LIB bermula pada tahun 1980 di Asahi Chemicals dan mulai dikomersialkan pertama kali pada tahun 1990 oleh Sony Corp. untuk telepon seluler (Masaki Yoshio, 2009). Baterai ion *lithium* memiliki kemampuan untuk menyimpan energi per satuan berat sebanyak dua hingga tiga kali lebih banyak daripada aki atau baterai NiCd, memiliki masa pakai yang lama hingga 1000 siklus, *low self-discharge*, dan umur penyimpanan yang lama (Sides dkk., 2002).

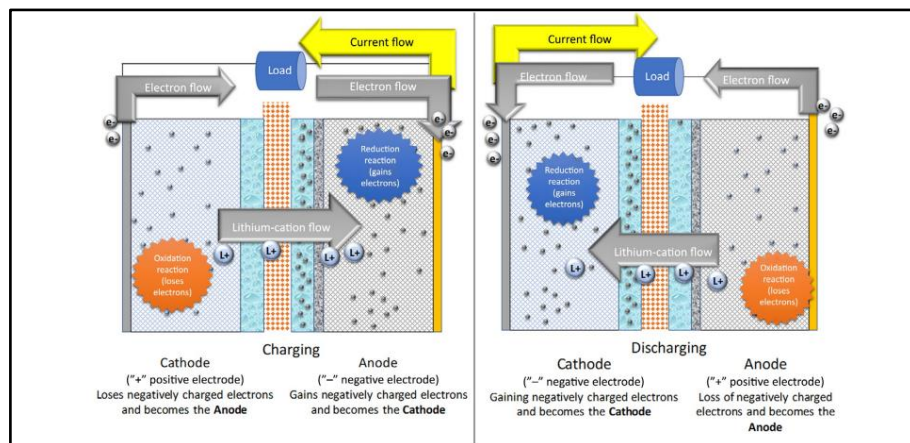
LIB memiliki beberapa komponen utama yaitu anoda, katoda, *separator*, elektrolit dan logam Al dan Cu yang berfungsi sebagai kolektor arus seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. *Separator* merupakan membran berpori yang berfungsi untuk memisahkan anoda dan katoda dari kontak langsung untuk mencegah terjadinya arus pendek (*short circuit*), sedangkan elektrolit adalah media penghantar ion *lithium* antara kedua elektroda melalui separator (Hannan dkk., 2018).

Selama proses *charging*, ion *lithium* bergerak dari katoda ke anoda dan elektron dikeluarkan dari katoda oleh medan eksternal dan kemudian ditransfer ke anoda. Selama proses *discharge*, anoda menyuplai ion ke elektrolit dan elektron ke sirkuit eksternal di mana ion terinterkalasi menjadi katoda dan elektron dari sirkuit eksternal untuk kompensasi muatan. Reaksi redoks ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Rushendra Paravasthu, 2012; Yuan, Liu dan Zhang, 2016).



Sumber: (Goodenough dan Kim, 2010 dalam Yuan, Liu dan Zhang, 2016).

Gambar 2.1 Komponen Utama Baterai Ion *Lithium*



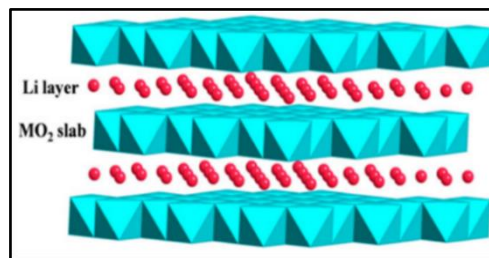
Sumber: (Goodenough dan Kim, 2010 dalam Yuan, Liu dan Zhang, 2016).

Gambar 2.2 Reaksi Redoks LIB

2.1.1. Elektroda Positif (Katoda)

Katoda adalah elektroda bermuatan positif dari sel *lithium-ion* elektrokimia di mana reduksi ion *lithium* terjadi, atau dalam istilah yang lebih sederhana itu adalah sisi positif dari sel baterai. Katoda tersusun atas 3 bagian yakni: material aktif, kolektor arus dan *conductive binder* (Warner, 2019; Pişkin, Uygur dan Aydınol, 2020). Dikategorikan berdasarkan struktur kristal

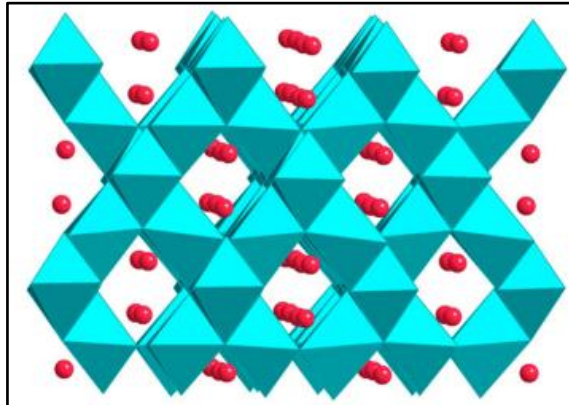
penyusunnya, katoda terbagi menjadi 3 meliputi Struktur Kristal Layer seperti LiMO_2 ($M = \text{Co, Ni, Mn, dll}$), Struktur Kristal Spinel seperti LiM_2O_4 ($M = \text{Mn, dll}$), dan Struktur Kristal Olivin seperti LiMPO_4 ($M = \text{Fe, Mn, Ni, Co, dll}$). Beberapa tahun terakhir, terdapat riset yang dilakukan pada bahan diatas beserta turunannya guna membentuk bahan interkalasi struktur baru seperti silikat, borat dan tavorit. Struktur kristal terbentuk ketika bahan mengalami perlakuan, biasanya pada suhu yang sangat tinggi, sehingga membawa atom ke dalam keselarasan struktural yang berulang. (Xu dkk., 2012; Yuan, Liu dan Zhang, 2016; Warner, 2019). Struktur kristal layer dengan simetri heksagonal berdasarkan struktur $\alpha\text{-NaFeO}_2$ dengan gugus ruang R3-m seperti LiNiO_2 , $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{O}_2$, $\text{LiMn}_x\text{Co}_y\text{O}_2$, $\text{LiMn}_x\text{Ni}_y\text{O}_2$, $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$, $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$, dll. ditunjukkan pada Gambar 2.3. Anion oksigen (dihilangkan untuk kejelasan dalam gambar) membentuk kisi FCC padat dengan kation yang terletak di situs kristal oktahedral 6-terkoordinasi.



Sumber: (Xu dkk., 2012).

Gambar 2.3 Struktur Kristal LiMO_2 Berlapis
(biru: ion logam transisi; merah: ion Li)

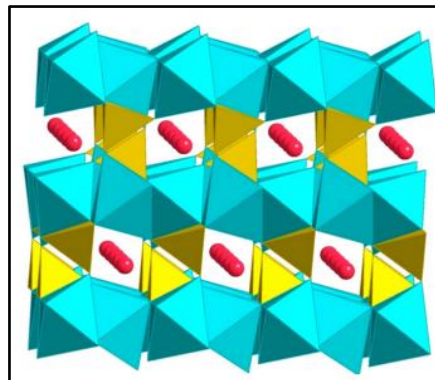
Struktur kristal tipe spinel seperti LiMn_2O_4 ditunjukkan pada Gambar 2.4. Kerangka oksigen LiM_2O_4 sama dengan struktur berlapis LiMO_2 . Kation M masih menempati situs oktahedral tetapi 1/4 di antaranya terletak di lapisan Li, meninggalkan 1/4 situs di lapisan logam transisi yang kosong. Ion Li menempati situs tetrahedral di lapisan Li yang berbagi wajah dengan situs oktahedral kosong di lapisan logam transisi. Strukturnya didasarkan pada host MO_2 tiga dimensi dan kekosongan pada lapisan logam transisi memastikan jalur difusi Li tiga dimensi.



Sumber: (Xu dkk., 2012).

Gambar 2.4 Struktur Kristal Spinel LiM_2O_4
(biru: ion logam transisi; merah: ion Li).

Struktur kristal tipe *olivine* seperti LiFePO_4 ditunjukkan pada Gambar 2.5. LiFePO_4 mengandung susunan oksigen anion HCP yang sedikit terdistorsi dengan setengah dari situs oktahedral ditempati oleh Fe dan seperdelapan oleh Li. Oktahedral pada LiO_6 adalah *edge-shared* sedangkan oktahedral FeO_6 adalah *corner-shared*. Kedua LiO_6 dan FeO_6 berjalan sejajar dengan sumbu c dan mereka bergantian dalam arah b. Bidang a-c yang mengandung atom Li dijembatani oleh PO_4 tetrahedral (Xu dkk., 2012; Yuan, Liu dan Zhang, 2016; Warner, 2019).



Sumber: (Xu dkk., 2012).

Gambar 2.5 Struktur Kristal Olivin LiMPO_4
(biru: ion logam transisi; kuning: ion P; merah: ion Li)

Saat ini katoda dengan struktur kristal layer banyak digunakan secara komersial dalam baterai *lithium-ion* yang menawarkan <180 Ah/kg dengan

siklus dan masa pakai yang cukup lama, namun memiliki kelemahan pada masalah keamanan karena bahan tersebut rentan terhadap *runaway thermal*, terutama ketika baterai diisi daya secara berlebihan (Yuan, Liu dan Zhang, 2016).

Adapun bahan yang akan digunakan sebagai elektroda positif dalam baterai *lithium-ion* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bahan katoda harus memiliki reaksi energi bebas yang tinggi dengan *lithium* dan menghasilkan tegangan tinggi (sekitar 4V).
2. Bahan katoda harus dapat secara reversibel menggabungkan sejumlah besar ion *lithium*, yang memberikan kepadatan energi dan kemampuan isi ulang yang tinggi.
3. Bahan katoda yang baik juga harus dapat dengan cepat menginterkalasi ion *lithium* dengan menawarkan tingkat difusivitas ion *lithium* yang tinggi, yang juga dapat diterjemahkan menjadi kemampuan daya yang tinggi.
4. Bahan katoda harus merupakan konduktor elektronik yang baik namun tetap tidak larut dalam elektrolit.
5. Bahan katoda harus mudah direduksi / ion teroksidasi, misalnya logam transisi.
6. Bahan katoda harus stabil secara termal dan kimia, murah dan ramah lingkungan (Philippe, 2013; Warner, 2019).

2.1.2. Elektroda Negatif (Anoda)

Elektroda negatif biasanya disebut sebagai anoda dan merupakan bagian penting kedua dari baterai *lithium ion* (Philippe, 2013). Anoda umumnya terbuat dari grafit (karbon) dan dilapisi pada foil tembaga. Anoda menerima muatan *lithium ion* selama *charge cycle* dan memancarkannya ke katoda selama *discharge cycle* (Y. Arora, 2015). Sisi anoda pada sel elektrokimia adalah sisi di mana setengah oksidasi dari reaksi redoks terjadi. Sama seperti katoda, anoda terdiri dari sekelompok molekul yang disatukan dengan pengikat dan juga menempel pada material aktif (biasanya adalah tembaga) sebagai kolektor arus.

Istilah yang paling sederhana, anoda adalah sisi negatif dari persamaan baterai (Warner, 2019).

Adapun bahan yang akan digunakan sebagai elektroda negatif dalam baterai *lithium-ion* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bahan harus memiliki nilai elektrokimia interkalasi dan de-interkalasi *lithium* yang berada di atas logam *lithium*. Dengan kata lain, ia harus dapat menyimpan *lithium* dalam jumlah besar dan sepenuhnya dapat dibalik, dapat melepaskan *lithium* dengan mudah dan tanpa merusak bahan anoda.
2. Bahan harus memiliki konduktivitas elektrik dan ionik yang tinggi.
3. Bahan harus memiliki kapasitas spesifik yang tinggi, baik secara gravimetri (mAh/g) maupun volumetrik (mAh/cm³).
4. Material harus memiliki tegangan kerja yang rendah dibandingkan *lithium*.
5. Bahan anoda yang baik harus menunjukkan siklus hidup yang panjang dengan sedikit atau tanpa perubahan struktural yang *irreversibel*.
6. Bahan harus stabil secara kimia dan termal dengan elektrolit pada rentang operasi yang luas. Stabilitas termal yang lebih tinggi memungkinkan tingkat keamanan yang tinggi dan stabilitas kimia yang tinggi berarti tidak akan larut dalam elektrolit.
7. Bahan anoda dari segi biaya harus melimpah di alam, mudah diproses, tidak mengandung bahan beracun, dan harus layak secara ekonomi (Philippe, 2013; Warner, 2019).

Bahan anoda yang paling umum digunakan sejak sel *lithium-ion* diperkenalkan berasal dari bahan karbon. Jenis karbon yang paling banyak digunakan dalam sel *lithium-ion* adalah karbon grafit, yang disebut grafit (Warner, 2019; Eftekhari, 2019). Selain grafit terdapat bahan anoda yang memiliki kapasitas teoritis yang jauh lebih tinggi ditunjukkan pada Tabel 2.1 seperti bahan karbon yang berbeda (*natural & artificial grafit, graphene, hard carbon* dan *porous soft carbon*), *silicon*, logam dan oksida logam. Namun, dari

beberapa bahan lain yang telah disebutkan hanya sedikit yang tersedia secara komersial dan masih banyak yang sedang melalui proses riset dan pengembangan (Writer, 2019; Warner, 2019; Eftekhari, 2019).

Tabel 2.1 Energi spesifik dari berbagai bahan anoda.

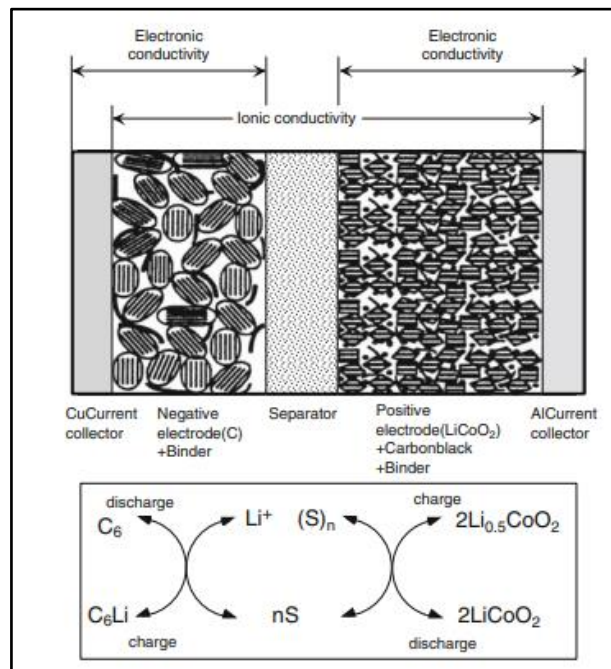
<i>Element</i>	Element Specific capacity (mAh/g)	Volumetric capacity (mAh/cm ³)
Silicon (Si)	4191	9765
<i>Lithium</i> (Li)	3860	2061
Germanium (Ge)	1528	8626
Aluminum (Al)	993	2681
Tin (Sn)	992	7241
Graphene (C)	960	4284
Antimony (Sb)	660	4402
Hard carbon (C)	480	553
Natural graphite (C)	372	837
Artificial graphite (C)	342	369
Soft carbon (C)	255	293
Titanium (Ti)	175	613

Sumber: (Warner, 2019).

2.1.3. Elektrolit

Elektrolit dalam sel *lithium*-ion berperan sebagai konduktor ionik yang berfungsi mengangkut ion *lithium* bolak-balik antara katoda dan anoda saat sel dalam proses *charge* dan *discharge* (Masaki Yoshio, 2009). Umumnya elektrolit yang digunakan terdiri dari kombinasi pelarut organik seperti *ethylene carbonate* (EC), *dimethyl carbonate* (DMC), *diethyl carbonate* (DEC), *ethyl methyl carbonate* (EMC), atau *propylene carbonate* (PC) dan garam *lithium* seperti LiPF₆ atau LiBF₄ dengan campuran berbagai zat aditif (Rushendra Paravasthu, 2012; Warner, 2019). Elektrolit terdiri dari medium konduktor ionik dengan konsentrasi tinggi yang terbuat dari ion non elektroaktif yang tidak berperan dalam reaksi redoks. Dengan kata lain, elektrolit hanyalah larutan yang tidak berkontribusi pada reaksi redoks yang terjadi pada elektroda selama *charge/discharge* baterai tetapi memiliki anion yang membantu menghantarkan ion *lithium* (Warner, 2019).

Pada sel *lithium-ion*, elektroda yang digunakan adalah elektroda komposit berpori, yang terdiri dari bahan aktif (karbon di elektroda negatif dan logam transisi *lithium* (Co, Ni, Mn) oksida di elektroda positif), bahan konduktif (karbon hitam), dan pengikat polimer seperti yang digambarkan pada Gambar 2.6, elektrolit harus terendam ke dalam elektroda berpori dan polimer berpori yang berperan sebagai *separator* antara elektroda, sekaligus memungkinkan pengangkutan pembawa muatan ionik dan mencegah korsleting (Masaki Yoshio, 2009; Maiyalagan dan Elumalai, 2020).



Sumber: (Masaki Yoshio, 2009).

Gambar 2.6 Peran Elektrolit dalam Sel *Lithium-ion*

Agar dapat berfungsi dengan baik, elektrolit memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi antara lain:

1. Elektrolit harus stabil secara kimiawi terhadap bahan aktif dari elektroda, *separator*, kolektor arus, maupun komponen sel lainnya.
2. Elektrolit diharuskan memiliki konduktivitas ionik tinggi ($\sigma_{Li} > 10^{-4}$ S/cm) dan konduktivitas elektrik rendah ($\sigma_e < 10^{-10}$ S/cm) pada rentang suhu yang luas (-40°C sampai $+60^{\circ}\text{C}$) dan seluruh jendela tegangan.

3. Elektrolit yang baik harus memiliki viskositas yang rendah.
4. Elektrolit harus menjaga elektron agar tidak diangkut antara elektroda (membentuk lapisan pasif yang stabil pada permukaan elektroda) yang memungkinkan mereka untuk bergerak hanya melalui pembawa arus dengan kata lain, itu harus non konduktif terhadap aliran elektron.
5. Elektrolit yang baik juga harus tidak memiliki proton atau atom hidrogen yang reaktif. Ini berarti bahwa elektrolit tidak boleh mengkonsumsi ion *lithium* saat melewatinya.
6. Elektrolit juga harus tetap cair pada rentang suhu yang luas. Jika elektrolit membeku pada suhu dingin, elektrolit tidak akan lagi menghantarkan ion, setidaknya tidak efisien.
7. Elektrolit harus memiliki tingkat kemurnian yang sangat tinggi
8. Elektrolit harus memiliki titik leleh rendah, di bawah 20°C, titik didih tinggi, di atas 180°C, dan titik nyala tinggi
9. Dapat mentolerir kondisi ekstrim (penyalahgunaan listrik, mekanik dan termal).
10. Toksisitas bahan rendah, tidak mudah terbakar, memiliki tekanan uap yang rendah dan memiliki biaya yang murah (Philippe, 2013; Warner, 2019).

2.1.4. Separator

Separator atau yang juga bisa disebut sebagai *ion-conducting membrane* (ICM) adalah membran berpori yang ditempatkan di antara elektroda dengan polaritas yang berlawanan, permeabel terhadap aliran ion tetapi mencegah kontak listrik elektroda. Fungsi utama dari *separator* adalah bertanggung jawab untuk menjaga elektroda anoda dan katoda terpisah secara elektrik dan dengan demikian mencegah korsleting dan pada saat yang sama memungkinkan transportasi cepat pembawa muatan ion yang diperlukan untuk menyelesaikan sirkuit selama aliran arus dalam sel elektrokimia (Masaki Yoshio, 2009; Warner, 2019). Korsleting akibat kontak antar elektroda dapat menyebabkan *runaway thermal* dan kemungkinan terbakar, seperti kebakaran

dan ledakan dapat terjadi sebagai akibat dari peningkatan suhu di dalam sel *lithium-ion* (Arora dan Zhang, 2004). Oleh karena itu, separator diharuskan untuk mempertahankan sifat fisik dan elektrokimianya pada suhu yang relatif tinggi (Masaki Yoshio, 2009).

Separator terbuat dari film polimer yang sangat tipis seperti *polyolefin*, keramik, atau campuran polimer/keramik. *Separator* yang tersedia secara komersial memiliki ketebalan antara 15 dan 40 μ m tetapi cenderung memiliki ketebalan yang lebih rendah dan dibuat melalui proses ekstrusi kering atau proses berbasis pelarut basah (Warner, 2019). Secara umum *separator* secara luas diklasifikasikan menjadi empat jenis utama berdasarkan struktur dan komposisi seperti, i) *microporous polyolefin*, ii) *modified microporous polyolefin*, iii) *non-woven polyolefin*, dan iv) *composite polyolefin membranes* (Maiyalagan dan Elumalai, 2020). *Separator* yang paling umum digunakan dalam baterai Li-ion adalah membran *polyolefin* karena stabilitas elektrokimia yang memuaskan, ketebalan yang berguna dan kekuatan mekanik yang menguntungkan (Writer, 2019).

Pori-pori di *separator* memungkinkan transfer ion *lithium* dengan berdifusi selama *charge* dan *discharge*. Ukuran pori-pori di *separator* adalah dimensi kunci dari sel *lithium-ion*. Ukuran pori-pori perlu ditentukan berdasarkan ukuran partikel di elektroda; mereka harus cukup kecil sehingga bahan aktif tidak bisa lewat tetapi ion bisa lewat. Namun, pori-pori tidak boleh terlalu besar, karena hal itu akan menghilangkan fungsionalitas *safety shutdown* karena pori-pori tidak akan menutup pada suhu yang tinggi (biasanya dalam kisaran 130 sampai 150°C/270-300°F), dan menghentikan proses pengisian atau pengosongan dengan menghambat transportasi ion antara anoda dan katoda (Mikolajczak dkk., 2011; Warner, 2019).

Sejumlah faktor harus dipertimbangkan dalam memilih *separator* terbaik untuk baterai. Karakteristik setiap *separator* yang tersedia harus dipertimbangkan terhadap persyaratan dan dipilih yang paling memenuhi

kebutuhan baterai. Pertimbangan yang penting dan memengaruhi pemilihan separator antara lain:

1. Isolator elektronik.
2. Resistensi elektrolit (ionik) minimal.
3. Stabilitas mekanis dan dimensi.
4. Kekuatan fisik yang cukup untuk memungkinkan penanganan yang mudah.
5. Ketahanan kimia terhadap degradasi oleh elektrolit, kotoran, dan reaktan dan produk elektroda.
6. Efektif dalam mencegah migrasi partikel atau spesies koloid atau larut antara dua elektroda.
7. Mudah dibasahi oleh elektrolit.
8. Seragam dalam ketebalan dan sifat lainnya (Masaki Yoshio, 2009).

2.2. Jenis Baterai Ion *Lithium*

LIB cenderung digambarkan dengan menggunakan deskripsi bahan katoda aktif yang ada di elektroda positif (Warner, 2019). Bahan katoda aktif utama yang banyak digunakan dalam sel *lithium-ion* antara lain *lithium* besi fosfat (LFP), *lithium cobalt oxide* (LCO), *lithium manganese oxide* (LMO), *lithium nickel cobalt aluminium* (NCA), dan *lithium nickel manganese cobalt* (NMC) (Hannan dkk., 2018). Selain kelima jenis yang telah disebutkan terdapat bahan katoda jenis *lithium titanium oxide* (LTO), namun menurut Warner (2019) LTO sebenarnya bahan anoda yang dipasangkan dengan salah satu bahan katoda yang telah disebutkan sebelumnya (Warner, 2019). Saat ini, bahan yang menarik perhatian sebagai bahan katoda berkapasitas tinggi adalah struktur kristal layer berlapis dengan konduktivitas ion *lithium* yang tinggi dan sifat elektrokimia yang sangat baik daripada jenis bahan katoda lainnya (bahan katoda struktur olivin, spinel) (Eftekhari, 2019). Tabel 2.2 menunjukkan perbandingan antara 5 jenis LIB yang populer dan banyak digunakan di industri. Baterai jenis NCA terkenal karena memiliki kepadatan energi tertinggi di antara LIB komersial dan dimasukkan ke

dalam paket baterai Tesla EV modern, tetapi produsen EV lainnya telah memilih sel NMC karena masa pakainya yang lebih tinggi (Or dkk., 2020).

Tabel 2.2 Perbandingan LIB yang paling umum tersedia secara komersial

Material Katoda	Nominal Voltage (V)	Typical Gravimetric Capacity (mAh/g)	Typical Volumetric Capacity (mAh/cm ³)	Keterangan
LiFePO ₄	3,3	165	589	<ul style="list-style-type: none"> - Fe berlimpah dan ramah lingkungan, stabilitas termal tinggi - Penggunaan umum: perkakas listrik dan e-sepeda - Biaya produksi: sedang - Masa penggunaan: tinggi
LiCoO ₂	3,6	145	550	<ul style="list-style-type: none"> - Co beracun dan mahal. - Penggunaan umum: perangkat elektronik portabel - Biaya produksi: sedang - Masa penggunaan: sedang
LiMn ₂ O ₄	4,0	120	496	<ul style="list-style-type: none"> - Mn melimpah dan ramah lingkungan. - Penggunaan umum: perkakas listrik dan sepeda elektrik - Biaya produksi: rendah - Masa penggunaan: rendah
LiNiCoAlO ₂	3,7	200	700	<ul style="list-style-type: none"> - Kepadatan energi spesifik tertinggi, digunakan dalam baterai Panasonic untuk Tesla EVs - Biaya: tinggi - Seumur hidup: sedang
LiNiMnCoO ₂	3,7	170	600	<ul style="list-style-type: none"> - Dirancang untuk mengurangi Co - Penggunaan umum: perangkat elektronik portabel dan EVs - Biaya produksi: tinggi - Masa penggunaan: tinggi

(Sumber : Or dkk., 2020).

2.2.1. LiFePO₄ (*Lithium Iron Phosphate – LFP*)

Lithium Iron Phosphate yang biasanya disingkat sebagai LiFePO₄ atau hanya LFP, adalah bahan katoda tipe olivin tiga dimensi. LFP juga disebut bahan polianion, dengan besi (Fe²⁺) tersusun dengan enam atom yang terletak secara simetris di sekitar atom pusat ini dikenal sebagai oktahedral (Warner, 2019). Reaksi elektrokimia pada baterai LFP ditunjukkan pada Tabel 2.3. Ketika baterai LFP mengalami proses *discharge*, molekul *lithium* dari elektroda negatif terlepas dari *graphene* berlapis, menjadi ion *lithium* dan elektron. Elektron keluar dari baterai saat ion *lithium* bergerak melintasi pemisah dan keduanya berintegrasi menjadi fosfat besi pada elektroda positif. Selama pengisian, *lithium* terpisah dari fosfat besi, menghasilkan ion *lithium* dan elektron. Ion *lithium* dan elektron ditransfer ke elektroda positif dan berintegrasi ke dalam struktur *graphene* (Batteries dan Fowler, 2021). Reaksi elektrokimia pada baterai LFP ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Reaksi elektrokimia baterai *Lithium Iron Phosphate* (LFP).

Elektroda	Reaksi Elektrokimia
Anoda	$\text{Li}_n\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^-$
Katoda	$\text{Li}_{m-n}\text{FePO}_4 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}_m\text{FePO}_4$
	$\text{Li}_n\text{C}_6 + \text{Li}_{m-n}\text{FePO}_4 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + \text{Li}_m\text{FePO}_4$

Sumber : (Batteries dan Fowler, 2021).

2.2.2. LiCoO₂ (*Lithium Cobalt Oxide – LCO*)

LiCoO₂ telah menjadi bahan katoda utama dalam baterai *lithium-ion* komersial sejak 1992 (Writer, 2019). LCO memiliki struktur kristal berlapis dengan enam atom *cobalt* yang tersusun dalam situs oktahedral di sekitar atom oksigen dan bahan tersebut dalam lapisan oksida *cobalt* dan *lithium* yang berselang-seling (Nitta dan Yushin, 2014). Terlepas dari keberhasilan awal LiCoO₂ sebagai katoda, tingginya biaya bahan Co telah memicu pencarian elektroda positif kelas baru. Pada tahap awal pengembangannya, LiCoO₂ diperkirakan bermasalah dengan harga dan sumber daya *cobalt*, dan akan segera digantikan oleh bahan jenis *nickel* atau *manganese*. Selain biaya material,

LiCoO₂ dapat bereaksi sangat baik dengan elektrolit cair dalam keadaan terisi penuh yang menyebabkan kebakaran dan ledakan (Masaki Yoshio, 2009; Myung dkk., 2017).

Tabel 2.4 Reaksi elektrokimia baterai *Lithium Cobalt Oxide* (LCO)

Elektroda	Reaksi Elektrokimia
Anoda	$\text{Li}_n\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^-$
Katoda	$\text{Li}_{m-n}\text{CoO}_2 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}_m\text{CoO}_2$
	$\text{Li}_n\text{C}_6 + \text{Li}_{m-n}\text{CoO}_2 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + \text{Li}_m\text{CoO}_2$

2.2.3. LiMn₂O₄ (*Lithium Manganese Oxide – LMO*)

Lithium Manganese Oxide, yang dikenal sebagai LiMn₂O₄ atau LMO, berbeda dari LFP dan LCO karena bentuk kristalnya adalah struktur spinel tipe kisi. Seperti oksida logam lainnya, LMO adalah senyawa yang mengandung setidaknya satu anion oksigen dan satu kation *manganese* logam. Senyawa ini tidak larut dalam larutan berair seperti air tetapi kombinasinya stabil dan memiliki konduktivitas listrik dan ion yang baik yang membuatnya berguna dalam aplikasi elektrokimia seperti baterai *lithium-ion* (Warner, 2019).

Tabel 2.5 Reaksi elektrokimia baterai *Lithium Manganese Oxide* (LMO)

Elektroda	Reaksi Elektrokimia
Anoda	$\text{Li}_n\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^-$
Katoda	$\text{Li}_{m-n}\text{MnO}_4 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}_m\text{MnO}_4$
	$\text{Li}_n\text{C}_6 + \text{Li}_{m-n}\text{MnO}_4 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + \text{Li}_m\text{MnO}_4$

Sumber : (*Batteries dan Fowler, 2021*).

Baterai LMO mengandung struktur spinel tiga dimensi untuk meningkatkan difusi ion *lithium* sehingga memungkinkannya memiliki stabilitas termal yang tinggi, potensi operasi yang tinggi, biaya rendah, bahan bakunya yang melimpah dan bahaya rendah (Lee dkk., 2014; Fu dkk., 2015). Namun, baterai LMO menunjukkan penurunan kapasitas yang parah selama proses pengisian/pengosongan berulang, terutama di suhu di atas 60°C

disebabkan karena pelarutan permukaan *manganese* dalam elektrolit (Fu dkk., 2015; Batteries dan Fowler, 2021).

2.2.4. LiNiCoAlO₂ (*Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide – NCA*)

Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide, yang dikenal sebagai LiNiCoAlO₂ atau hanya NCA memiliki struktur kristal yang sama seperti LCO dan NMC, yaitu struktur kristal berlapis yang diatur di situs oktahedral dalam lapisan atom *nickel* dan *cobalt*, atom *aluminium* dan *cobalt*, dan *lithium* (Warner, 2019). Pada baterai NCA komposisi *manganese* dari baterai NMC digantikan dengan *aluminium* (Batteries dan Fowler, 2021). Hal ini mengakibatkan peningkatan energi dan umur pemakaian spesifik jika dibandingkan dengan baterai NMC. Kelemahan dari baterai NCA adalah tidak seaman baterai jenis lain dan karena memerlukan tindakan pemantauan keamanan khusus untuk digunakan dalam EV. Baterai NCA juga lebih mahal untuk diproduksi, dan kelayakannya terbatas untuk diaplikasikan selain di EV (Miao dkk., 2019).

Tabel 2.6 Reaksi elektrokimia baterai *Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)*

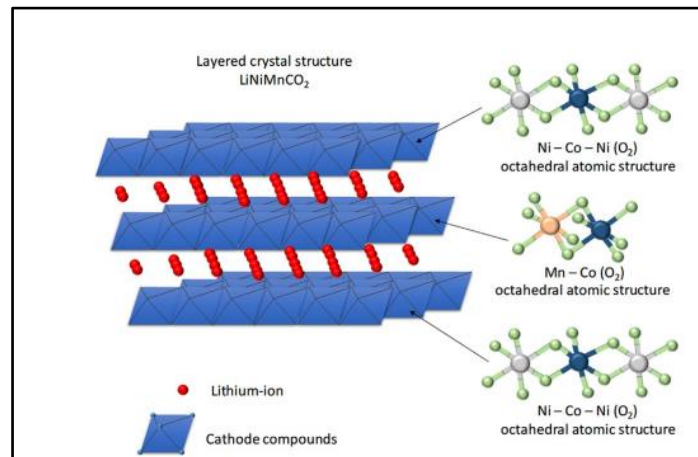
Elektroda	Reaksi Elektrokimia
Anoda	$\text{Li}_n\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^-$
Katoda	$\text{Li}_{m-n}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}_m(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2$
	$\text{Li}_n\text{C}_6 + \text{Li}_{m-n}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + \text{Li}_m(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2$

Sumber : (Batteries dan Fowler, 2021).

2.2.5. Li(Ni_xMn_yCo_z)O₂ (*Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide - NMC*)

Dari semua bahan katoda, NMC Li(Ni_xMn_yCo_z)O₂ adalah bahan yang paling banyak diteliti karena kapasitas pelepasannya yang tinggi, stabilitas sistemik yang memuaskan dan kemampuan laju yang tinggi (Writer, 2019). Beberapa produsen menyebutnya *Nickel Cobalt Manganese* (NCM) bukan NMC tetapi tidak ada perbedaan besar selain mungkin urutan campuran dengan unsur-unsur dalam urutan persentase yang lebih tinggi (Warner, 2019). NMC

memiliki struktur kristal berlapis diatur di situs oktahedral di lapisan bolak-balik dari *nickel* dan atom *cobalt*, *manganese* dan atom *cobalt*, dan *lithium* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 (Warner, 2019).



Sumber: (Warner, 2019).

Gambar 2.7 Struktur Atom pada Baterai NMC

NMC adalah perkembangan lebih lanjut dari baterai *manganese oxide* dengan penambahan logam *nickel*. *Nickel* memberikan nilai energi spesifik yang tinggi tetapi memiliki stabilitas termal yang rendah, sedangkan *manganese* memberikan stabilitas termal yang tinggi dengan energi spesifik yang rendah. Alhasil, *nickel* dan *manganese* menetralkan masing-masing kelemahan dan memberikan nilai yang bagus dalam nilai energi spesifik (Thackeray dkk., 1983).

Tabel 2.7 Reaksi elektrokimia baterai *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide* (NMC).

Elektroda	Reaksi Elektrokimia
Anoda	$\text{Li}_n\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^-$
Katoda	$\text{Li}_{m-n}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2 + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}_m(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$
	$\text{Li}_n\text{C}_6 + \text{Li}_{m-n}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Li}_0\text{C}_6 + \text{Li}_m(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$

Sumber : (Batteries dan Fowler, 2021).

Reaksi elektrokimia baterai NMC ditunjukkan pada Tabel 2.7 yakni reaksi pelepasan berlangsung dari kiri ke kanan, sedangkan reaksi muatan

berlangsung dari kanan ke kiri. Katoda NMC dengan komposisi (Ni-Mn-Co) yang berbeda telah banyak telah ada selama hampir 20 tahun, dengan banyak publikasi dan paten yang muncul pada pertengahan tahun 2000-an (RESEARCHINTERFACES, 2018). Meskipun melalui penelitian yang ekstensif belum ditemukan komposisi tunggal yang optimum untuk sistem katoda NMC. Secara umum dipahami bahwa peningkatan kandungan Ni akan meningkatkan *initial discharge capacity* tetapi menimbulkan penurunan kapasitas selama siklus. Selain itu, senyawa NMC yang kaya Ni rentan terhadap transisi fase yang diinduksi secara termal ke struktur spinel dan *rock-salt*, yang disertai dengan pelepasan oksigen. Oksigen yang dilepaskan dapat menyebabkan pelepasan termal baterai, terutama pada kondisi pengisian daya yang berlebihan. Kandungan Mn secara khusus meningkatkan stabilitas termal, tetapi doping Mn secara substansial mengurangi *discharge capacity* NMC. Meningkatkan kandungan Co secara substansial mengurangi kehilangan kapasitas selama siklus dengan mengorbankan biaya material yang meningkat secara signifikan dan pengurangan kapasitas (Myung dkk., 2017).

2.3. *Pretreatment Spent Battery*

LIB bekas memiliki komposisi yang sangat rumit karena mengandung energi listrik dalam jumlah besar, yang mengakibatkan perlunya proses *pretreatment* yang kompleks. Selama *pretreatment*, beberapa teknologi gabungan telah diterapkan untuk memisahkan masing-masing komponen LIB, seperti anoda dan katoda, pemisahan berfungsi untuk mengurangi pengotor dan memasok bahan yang akan digunakan dalam proses daur ulang selanjutnya (Yu dkk., 2022). Proses *pretreatment* terbagi menjadi tiga langkah yaitu *discharge*, pembongkaran/pemisahan, dan pemisahan bahan aktif katoda (Yao dkk., 2020). Namun, (Bi dkk., 2019) membagi *pretreatment* menjadi empat langkah: *discharge*, pembongkaran, penghancuran, dan pemisahan komponen. Proses *pretreatment* sangat penting dalam proses daur ulang LIB bekas menggunakan teknologi hidrometalurgi dan *direct recycling*. *Pretreatment* dapat meningkatkan efisiensi

recovery elemen berharga dalam LIB dan mengurangi konsumsi energi dalam proses selanjutnya (Kim dkk., 2021).

2.3.1. Pengosongan Muatan (*Discharge*)

Anoda dan katoda LIB dengan kapasitas yang tersisa dan masih menyimpan energi listrik dalam jumlah besar sangat mudah untuk melakukan kontak satu sama lain dan dapat menyebabkan aliran arus hubung singkat ketika komponen LIB dibongkar. Arus hubung singkat ini dapat menghasilkan panas dan memantik pelarut yang mudah menguap dan mudah terbakar dalam larutan elektrolit, menyebabkan *inflammation* pada baterai. Oleh karena itu, *pretreatment discharge* diperlukan sebelum pembongkaran sel baterai untuk menghindari potensial bahaya *self-ignition* atau korsleting (Kim dkk., 2021). Oleh karena itu, *discharge* merupakan perlakuan penting dalam daur ulang untuk mengurangi energi sisa dan mencegah pelepasan panas selama proses pembongkaran, karena sejumlah energi masih tersisa di LIB bekas (Yao dkk., 2020).

2.3.2. Pembongkaran (*Dismantling*)

Pemisahan material aktif yang diperoleh dengan cara pembongkaran, pemisahan elektroda dan pemurnian berguna mempersingkat proses untuk merekonstruksi LIB dengan *direct recycling*. Pembongkaran baterai atau pembongkaran sel bekas umumnya dilakukan secara manual dengan pisau dan gergaji, dalam pembongkaran mengadopsi langkah-langkah perlindungan sederhana untuk mengatasi masalah keamanan (Kim dkk., 2021). LIB dibongkar dan dikelompokkan menjadi 4 bagian utama yakni katoda, anoda, plastik *separator* dan kotak logam (*case*) (Chen dkk., 2018). Prosedur pembongkaran LIB harus ditangani dengan hati-hati untuk menghindari ledakan. Prosedur untuk membongkar kemasan baterai dengan aman, terutama secara otomatis belum sepenuhnya dieksplorasi. Pengotor berpengaruh negatif terhadap produk akhir oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian jumlah dan jenis pengotor pada produk akhir (Makwarimba dkk., 2022).

2.3.3. Kominusi (*Mechanical Treatment*) & Klasifikasi (*Sieving*)

Kominusi baterai *lithium-ion* bekas (LIB) menghasilkan bubuk yang mengandung komponen sel aktif, yang biasa disebut sebagai "*black mass*". Kominusi baterai *lithium-ion* bekas (LIB) menghasilkan bubuk yang mengandung komponen sel aktif, yang biasa disebut sebagai "massa hitam". Fraksi halus dari massa hitam ini, setiap elemen kimia dapat diasosiasikan dengan komponen baterai khusus: partikel grafit yang terbuat dari C; oksida logam *lithium* terbuat dari Co, Ni, Mn, dan Li; pengumpul arus katoda yang terbuat dari Al; pengumpul arus anoda yang terbuat dari Cu; dan partikel *casing* terutama terbuat dari Fe. Perlu digaris bawahi bahwa kandungan Al, Cu, dan Fe dalam massa hitam bekas sangat bergantung pada tahap kominusi (pembebasan) dari proses daur ulang (Vanderbruggen dkk., 2022).

LIB yang dibongkar memerlukan penghancuran dan penggilingan untuk membebaskan bahan elektroda, dan tahap penghancuran ini sangat penting untuk proses daur ulang hidrometalurgi (Kim dkk., 2021). Penghancuran digunakan untuk mencapai pemisahan *aluminium* foil dari material aktif katoda meskipun tidak diperlukan untuk proses *leaching* dengan zat *leaching* konsentrasi tinggi (Apriliyani dkk., 2021). Penghancuran dilakukan di bawah *cryogenic cooling* atau atmosfer inert, karena ini menurunkan reaktivitas Li/Li^+ dan dengan demikian mengurangi risiko ledakan, kebakaran, dan emisi gas beracun (misalnya, pelarut organik, fluorofosfat, dan pembebasan uap HF) saat penghancuran LIB. Proses alternatif energi yang berpotensi lebih murah dan lebih rendah yakni melakukan pengosongan (*discharge*) LIB bekas dalam larutan garam sebelum dihancurkan. Ini menjanjikan karena kesederhanaannya, keefektifannya, dan juga memiliki manfaat tambahan dalam menyerap panas yang dihasilkan selama pelepasan (Or dkk., 2020).

Setelah proses kominusi, dilakukan klasifikasi ukuran dengan pengayakan untuk memperkaya kandungan logam dalam fraksi ukuran tertentu (Ebin, Petranikova dan Ekberg, 2018). Berdasarkan perbedaan bentuk yang

mencolok, setelah penyaringan, produk yang dihancurkan dapat dibagi menjadi tiga bagian: fraksi yang diperkaya Al (>2 mm), fraksi yang diperkaya Cu dan Al (0,25– 2 mm), dan fraksi yang diperkaya Co dan grafit (<0,25 mm) (Zhang dkk., 2018).

2.3.4. Separation

Setelah klasifikasi produk kominusi LIB, yang merupakan pemisahan kasar berdasarkan ukuran partikel, digunakan metode pemisahan yang lebih halus, pemisahan dengan memanfaatkan gaya magnetik, elektrostatik, gaya gravitasi dan flotasi (Kim dkk., 2021). Pemisahan magnetik telah sering digunakan untuk menghilangkan komponen yang mengandung Fe dalam proses daur ulang LIB. Pemisah magnetik memisahkan potongan selubung baja (*case*) dan bahan aktif katoda yang terkandung dalam sebagian besar partikel non-magnetik (Apriliyani dkk., 2021).

2.3.5. Thermal Treatment

Mengingat bahan elektroda aktif LIB yang dihubungkan bersama dengan foil Al/Cu menggunakan bahan perekat organik seperti pengikat PVDF, mereka dapat dipisahkan dari foil Al/Cu dengan menghilangkan pengikat PVDF dengan metode termal (Zhang dkk., 2018). Bahan pengikat yang mengikat material aktif dan agen konduktif karbon bersama-sama dan merekatkannya ke kolektor dapat dihilangkan dengan menggunakan perlakuan termal. Perlakuan termal dua langkah dan kalsinasi dilakukan untuk membebaskan bahan elektroda dari kolektor arus dan untuk membakar karbon dan pengikat (Kim dkk., 2021). Untuk mencegah efek yang merusak, penghilangan binder (PVDF) dan karbon hitam harus dilakukan dengan cara terkontrol yang dioptimalkan untuk bahan tersebut (Ross dkk., 2020). Setelah pengikat dilepas, bahan katoda baterai Li-ion akhir masa pakainya akan diregenerasi menggunakan beberapa metode termasuk *solid state*, *hydrothermal*, *electrochemical process* dan FASP. Menurut (Chen dkk., 2018) perlakuan awal termal diperlukan untuk menghilangkan asetilena hitam dan polivinilidena fluorida (PVDF) dalam bubuk aktif katoda. Kolektor katoda dipanaskan pada suhu 300°C selama 1 jam

untuk melarutkan pengikat. Perlakuan awal termal pada 500-600°C dapat digunakan untuk menguapkan bahan organik dalam *black mass* (misalnya, elektrolit, separator, dan residu PVDF) yang mengandung F, yang dikenal sebagai elemen berbahaya dan korosif (Babanejad dkk., 2022).

2.4. Recovery Material Katoda Bekas

Secara garis besar material katoda bekas dapat didaur ulang menggunakan 3 proses yakni, pirometalurgi, hidrometalurgi, dan *direct regeneration* (Makwarimba dkk., 2022). Pada proses hidrometalurgi konvensional, *recovery* LIB bekas dapat melalui beberapa tahapan proses *leaching*, presipitasi (*precipitation*) dan ekstraksi pelarut (*solvent extraction*) (Or dkk., 2020). Proses pirometalurgi adalah metode *recovery* yang lebih tradisional di bidang metalurgi. Proses ini biasanya digunakan untuk melebur logam dalam bijih, seperti bijih besi. Di bidang daur ulang LIB bekas, pirometalurgi diterapkan untuk memulihkan logam berharga dari LIB bekas di bawah suhu tinggi. Umumnya, proses pirometalurgi saja tidak dapat mencapai pemulihan lengkap LIB (Yu dkk., 2022). Beberapa proses daur ulang menggabungkan langkah-langkah pirometalurgi dan hidrometalurgi dan seringkali memiliki langkah-langkah perlakuan awal yang terintegrasi seperti pirolisis atau pemrosesan mekanis, yaitu penghancuran dan pemisahan material (Georgi-Maschler dkk., 2012).

2.4.1. Leaching

Proses hidrometalurgi banyak digunakan sebagai yang paling menjanjikan baik dalam penelitian akademis dan aplikasi industri karena efisiensinya yang tinggi dan konsumsi energi yang rendah (Chen dkk., 2021). Proses *leaching* merupakan salah satu proses yang dimanfaatkan pada setiap proses pemulihan logam terutama pada metode hidrometalurgi. *Leaching* digunakan untuk melarutkan logam dalam fase padat menjadi fase cair untuk pemisahan lebih lanjut. Hanya logam terlarut yang dapat diperoleh kembali pada tahap berikutnya, oleh karena itu *leaching* adalah langkah penting dalam proses hidrometalurgi yang menentukan efek *recovery* dari keseluruhan proses.

Leaching asam anorganik biasanya melibatkan penggunaan asam anorganik kuat seperti HCl, H₂SO₄, HNO₃, dan H₃PO₄. Sedangkan asam organik yang umum digunakan untuk proses *leaching* LIB bekas adalah asam asetat (CH₃COOH), asam oksalat (C₂H₂O₄), asam sitrat(C₆H₈O₇), asam format (CH₂O₂), asam malat (C₄H₆O₅), asam laktat (CH₃CHCOOH), dan asam tartarat (C₄H₆O₆). Kemudian ditambahkan zat pereduksi seperti hidrogen peroksida (H₂O₂), natrium bisulfat (NaHSO₃), dan asam sitrat guna meningkatkan efisiensi *leaching* (Chen dkk., 2015; Chen dkk., 2018; Chen dkk., 2021; Gao dkk., 2022; Yu dkk., 2022). Tujuan utama penambahan oksidator selama proses *leaching* adalah untuk mereduksi Co₃₊ menjadi Co₂₊ dan Mn₄₊ menjadi Mn₂₊ yang ada dalam LIB bekas. Valensi M₃₊ atau M₄₊ menyebabkan ion logam sulit untuk dilarutkan karena ikatan logam dengan oksigen yang kuat (M-O). Oleh karena itu, dibutuhkan zat pereduksi saat proses *leaching* agar logam dapat tereduksi dan memiliki valensi M₂₊, sehingga proses *leaching* dapat memiliki efisiensi yang tinggi (Meshram, Pandey dan Mankhand, 2015).

Terdapat tujuh parameter utama yang memengaruhi kinetika proses dan hasil *leaching*, yaitu:

- Konsentrasi asam (pelarut)
- Konsentrasi zat pereduksi (oksidator)
- *Pulp density* (rasio zat cair dan zat padat (rasio S/L))
- Temperatur
- Waktu reaksi, dan
- Kecepatan agitasi
- Ukuran umpan (*Feed size*).

pada *leaching* LIB bekas, meningkatnya konsentrasi baik konsentrasi asam maupun konsentrasi zat pereduksi akan meningkatkan efisiensi proses *leaching*. Namun, apabila konsentrasi asam maupun zat pereduksi terlalu tinggi akan terjadi penurunan efisiensi karena produk mengalami reaksi terbatas (Zheng dkk., 2019; Or dkk., 2020). Oleh karena itu diperlukan optimasi pada konsentrasi asam dan zat pereduksi guna mendapatkan efisiensi *leaching* yang

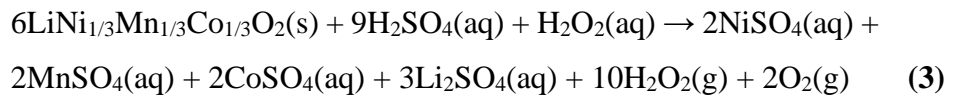
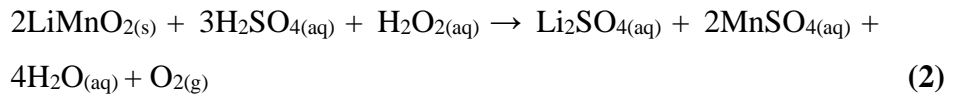
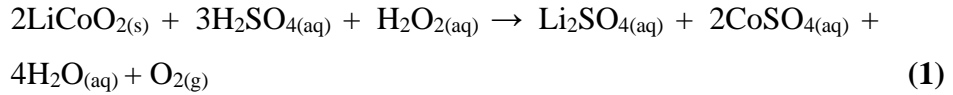
terbaik. *Pulp density* atau rasio zat padat dan cair yang tepat diperlukan untuk mendapatkan efisiensi *leaching* yang tinggi. Rasio S/L berpengaruh pada reaktivitas antara padatan dan pelarutnya. Peningkatan energi kinetik terjadi karena tumbukan antar reaktan yang dipengaruhi juga oleh ukuran umpan dan agitasi saat proses *leaching* (Or dkk., 2020; Apriliyani dkk., 2021; Chen dkk., 2021). Secara umum, temperatur reaksi yang lebih tinggi meningkatkan kinetika *leaching* dan efisiensi, karena meningkatkan frekuensi tumbukan reaktan dan menyediakan energi aktivasi untuk reaksi endotermik. Namun, suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi karena penguapan dan/atau dekomposisi asam dan oksidator (terutama H_2O_2) (Zheng dkk., 2019; Or dkk., 2020).

Proses *leaching* secara konvensional dengan asam akan melindi semua logam berharga dan kemudian memisahkannya dengan tahap pemisahan berikutnya. *Leaching* asam, khususnya *leaching* asam anorganik, adalah proses yang paling banyak digunakan karena efisiensi pencuciannya yang tinggi dan pengoperasian yang sederhana (Yu dkk., 2022). Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.8 bahwa asam anorganik seperti HCl , H_2SO_4 dan HNO_3 banyak digunakan karena memiliki kemampuan *recovery* yang tinggi dalam penelitian-penelitian sebelumnya terkait *leaching* katoda LIB bekas. Pemakaian H_2SO_4 sebagai *leaching agent* dengan H_2O_2 sebagai oksidator memiliki efisiensi *leaching* >99% pada *recovery* logam Li, Ni, Mn dan Co. Pada penelitian (Meshram, Pandey dan Mankhand, 2015), dapat terlihat bahwa *recovery* logam Mn dan Co lebih rendah dibandingkan logam Li dan Ni pada *leaching* LIB bekas menggunakan H_2SO_4 tanpa penambahan oksidator. Hal ini disebabkan karena logam Mn^{4+} dan Co^{3+} yang memiliki ikatan dengan oksigen yang kuat sehingga sukar untuk larut pada *leaching* H_2SO_4 tanpa penggunaan oksidator.

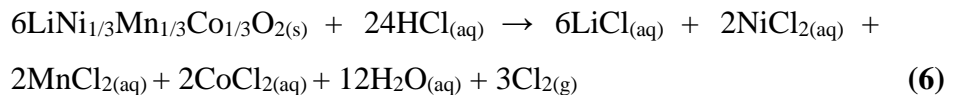
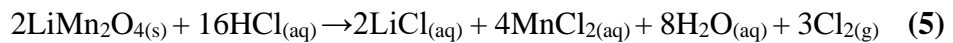
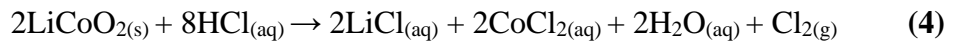
Tabel 2.8 Ringkasan Proses *Leaching* untuk Daur Ulang Katoda Bekas LIB.

Jenis Baterai	Parameter <i>Leaching</i>	Efisiensi <i>Leaching</i> (%)				Sumber
		Li	Ni	Mn	Co	
NMC	- 2M H ₂ SO ₄ + 3vol % H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 50 g/L - Temperatur = 60°C - Waktu = 60 menit	99	99	99	99	(Liu dkk., 2020)
Mixed LIB	- 1M H ₂ SO ₄ - S/L Ratio = 50 g/L - Temperatur = 95°C - Waktu = 240 menit	93	96	50	66	(Meshram, Pandey dan Mankhand, 2015)
LCO	- 3M HCl + 3,5vol % H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 0,05 g/L - Temperatur = 80°C - Waktu = 40 menit	81	-	-	79	(Shuva dan Kurny, 2013)
Mixed LIB	- 4M HCl - S/L Ratio = 20 g/L - Temperatur = 80°C - Waktu = 60 menit	99	99	99	99	(Wang, Lin dan Wu, 2009)
LCO	- 1M HNO ₃ + 1,7vol% H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 20 g/L - Temperatur = 75°C - Waktu = 60 menit	85	-	-	85	(Lee dan Rhee, 2002)
LCO	- 1M HNO ₃ + 1,7vol% H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 10-20 g/L - Temperatur = 75°C - Waktu = 60 menit	90	-	-	90	(Lee dan Rhee, 2003)
NMC	- 1M HNO ₃ + 0,5M H ₂ C ₆ H ₆ O ₆ - S/L Ratio = 20 g/L - Temperatur = 85°C - Waktu = 10 menit	99	99	99	99	(Chen dkk., 2021)
NMC	- 6M CH ₃ COOH + 4vol% H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 30 g/L - Temperatur = 60 °C - Waktu = 60 menit	99	99	99	99	(Zheng dkk., 2019)
Mixed LIB	- 0,25 - 1,25M HNO ₃ + 1,7vol% H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 10 - 30 g/L - Temperatur = 40 – 80 °C - Waktu = 60 menit					<i>This Work</i>
	- 0,25 - 1,25M CH ₃ COOH + 4vol% H ₂ O ₂ - S/L Ratio = 10 - 30 g/L - Temperatur = 40 – 80 °C - Waktu = 60 menit					

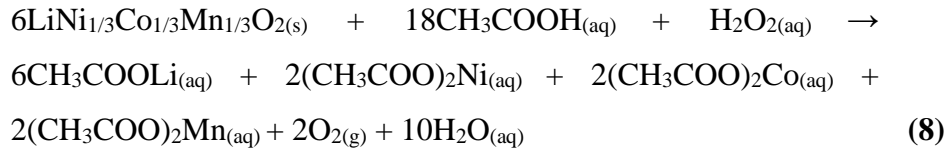
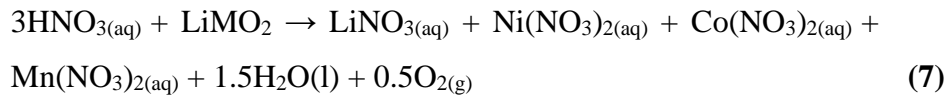
Persamaan 1-3 menunjukkan mekanisme reaksi *leaching* berbagai katoda LIB bekas menggunakan H₂SO₄ sebagai *leaching agent*.



Berbeda dengan H₂SO₄, *leaching* katoda LIB bekas memanfaatkan HCl justru menunjukkan efisiensi terbaik ketika tidak menggunakan oksidator H₂O₂. Hal ini dikarenakan penambahan oksidator dapat mengurangi konsentrasi HCl dan menurunkan kinerja *leaching* HCl (Wang, Lin dan Wu, 2009; Shuva dan Kurny, 2013; Or dkk., 2020). Persamaan 4 - 6 menunjukkan mekanisme reaksi *leaching* berbagai katoda LIB bekas menggunakan HCl sebagai *leaching agent*.

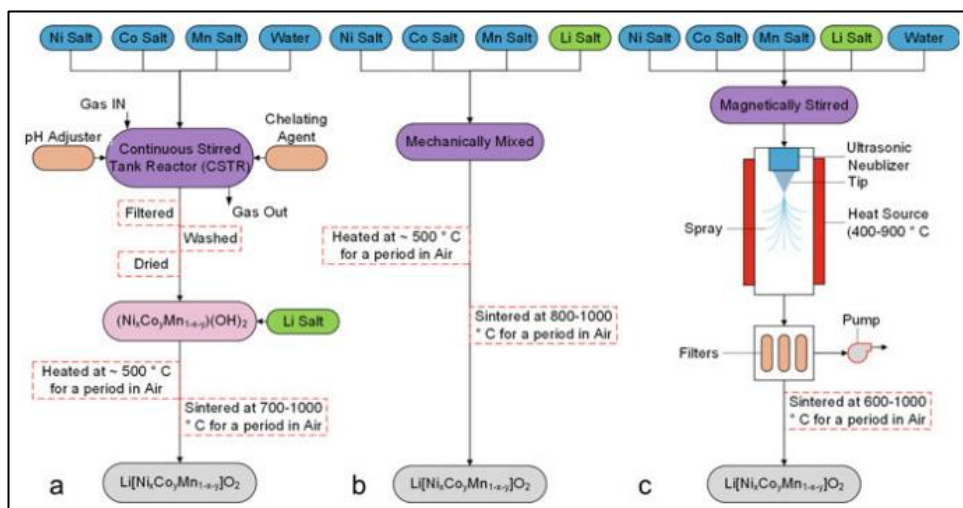


Selain H₂SO₄ dan HCl, *leaching* dengan HNO₃ sebagai pelarut dan H₂O₂ sebagai oksidator memiliki efisiensi *leaching* logam yang tinggi. Menurut (Lee dan Rhee, 2003), *leaching* dengan 1 M HNO₃ dan 1,7 vol% H₂O₂ pada 75°C, 99% Co dan Li dapat terlindi dalam 30 menit. Peningkatan efisiensi *leaching* disebabkan oleh penambahan H₂O₂ yang bertindak sebagai oksidator untuk mereduksi Co³⁺ menjadi Co²⁺, Mn³⁺ menjadi Mn²⁺, yang mudah larut dalam HNO₃. Menggunakan konsentrasi HNO₃ yang lebih rendah dalam *leaching* sangat menarik bagi industri daur ulang katoda baterai karena mengurangi konsumsi reagen (Jung, Sui dan Zhang, 2021). Persamaan 7 dan 8 menunjukkan mekanisme reaksi *leaching* berbagai katoda LIB bekas menggunakan HNO₃ dan CH₃COOH sebagai *leaching agent*.



Pada penelitian ini digunakan HNO_3 dan CH_3COOH sebagai pelarut dan H_2O_2 sebagai oksidator dalam *leaching* katoda LIB bekas dan untuk mengetahui *leaching agent* yang memiliki efisiensi *leaching* lebih tinggi. Asam nitrat dan asam asetat dipilih karena memiliki efisiensi yang cukup tinggi serta mempertimbangkan proses lanjutan setelah *leaching* yakni FASP (*Flame Assisted Spray Pyrolysis*) dimana prekursor garam logam dengan anion nitrat dan asetat lebih banyak digunakan karena anionnya yang dapat keluar dengan sempurna terutama anion nitrat dalam bentuk gas NO selama FASP sehingga lebih homogen.

2.5. Regenerasi Material Katoda



Sumber: (Lewis dkk., 2021).

Gambar 2.8 Skema Metode Sintesis baterai NMC: (a) *Co-Precipitation*, (b) *Solid-state Reaction*, (c) *Spray Pyrolysis*

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan/sintesis material katoda jenis NMC seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 yakni *combustion*,

sol-gel, *hydrothermal/solvothermal*, dan *emulsion drying*, yang paling umum dan banyak digunakan adalah kopresipitasi, diikuti dengan *spray pyrolysis* dan metode reaksi *solid-state* (Voronov dkk., 2016). Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing dan dapat dipilih berdasarkan aplikasi dan skala produksinya.

2.5.1. Solid State Synthesis

Solid state synthesis adalah salah satu metode tertua dan paling sederhana dalam literatur untuk menyiapkan bahan aktif baterai dan umumnya digunakan untuk persiapan bahan katoda NMC berukuran nanometer di industri karena persyaratan peralatan yang rendah dan kontrol proses yang mudah. Mekanisme proses sintesis dengan metode *solid state* cukup sederhana di mana semua oksida logam transisi dan garam Li dicampur dan dilakukan proses *sintering* pada sekitar suhu 800-1000°C. Keuntungan utama dari metode ini adalah bahwa stoikiometri yang benar dari Li dan logam transisi dapat diperoleh dengan mudah. Sedangkan metode ini memiliki kelemahan dimana diantaranya membutuhkan temperatur yang tinggi, waktu reaksi yang sangat panjang, dan memerlukan pencampuran mekanis yang kuat. Konstituen logam harus bergerak dalam jarak yang jauh melalui fase padat untuk menemukan posisi atom yang diinginkan, dan suhu yang tinggi membantu mempercepat proses difusi dan waktu penahanan yang lama membantu mencapai keseimbangan struktur. Oleh karena itu, waktu dan suhu *sintering* memainkan peran penting dalam morfologi dan kemurnian fasa bahan katoda (Malik, Chan dan Azimi, 2021). Kelemahan lain dari metode ini adalah partikel yang dihasilkan memiliki tekstur yang masih kasar, potensi kehilangan *lithium* pada tahap evaporasi besar, dan partikel yang dihasilkan masih mengandung banyak pengotor. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam sintesis senyawa anorganik. Hal ini dikarenakan metodenya yang sederhana dan tidak banyak menggunakan prekursor (Rahmawati dan Jihad, 2019).

2.5.2. Kopresipitasi

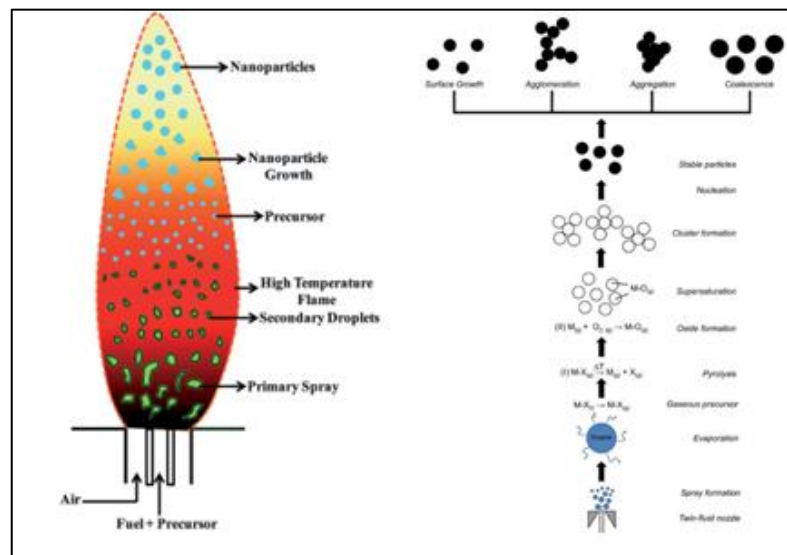
Metode kopresipitasi didasari oleh proses pengendapan lebih dari satu substansi terlarut secara simultan agar terbentuk suatu campuran homogen dengan bantuan presipitan (Rahmawati dan Jihad, 2019). Metode kopresipitasi dapat dibagi menjadi tiga kategori: kopresipitasi hidroksida, kopresipitasi karbonat, dan kopresipitasi oksalat, di mana kopresipitasi hidroksida adalah salah satu metode yang paling ekonomis untuk menghasilkan partikel dengan *tap density* yang tinggi (S. Zhang, 2007). Namun, metode kopresipitasi hidroksida membutuhkan atmosfer inert, jika tidak maka dapat menyebabkan struktur yang berbeda dan menghasilkan pengotor. Selain digunakan untuk memproduksi katoda jumlah *batch* dalam *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 (a), kopresipitasi juga biasa digunakan untuk mensintesis katoda yang diregenerasi dari baterai Li-ion yang habis masa pakainya.

Proses kopresipitasi memiliki beberapa parameter yang secara signifikan dapat memengaruhi morfologi dan komposisi partikel antara lain suhu, atmosfer, kecepatan pengadukan, pH, dan konsentrasi chelating agent. Variasi dalam kondisi kopresipitasi dan kimia partikel ini dapat menghasilkan morfologi partikel yang berbeda termasuk bola, kubus, jarum, batang kubik, ellipsoid, bola berongga, bintang, halter, pelat, dll. (Malik, Chan dan Azimi, 2021).

2.5.3. *Flame Assisted Spray Pyrolysis*

Spray Pyrolysis (SP) adalah metode serbaguna yang biasa digunakan untuk memproduksi bahan oksida logam transisi komersial dalam skala besar, tetapi tidak umum digunakan dalam penelitian akademis karena biaya dan kerumitan rangkaian peralatan (Malik, Chan dan Azimi, 2021). Prinsip kerja *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP) adalah memperoleh bubuk (*powder*) dari larutan prekursor yang dibuat dengan melarutkan garam logam sesuai stoikiometri yang dibutuhkan (Lengyel dkk., 2014; Zang dkk., 2021). Larutan

prekursor diatomisasi dalam bentuk droplet (*aerosolized*) dan dialirkan dalam reaktor, partikel akan terbentuk dalam bentuk bubuk karena penguapan zat pelarut dan diikuti dengan pengendapan dan dekomposisi termal dari garam dalam larutan prekursor (Lengyel, Atlas, dkk., 2014).



Sumber: (Roji, Jiji dan Raj, 2017; Ponnamma dkk., 2021).

Gambar 2.9 Skema Proses Pembuatan Nanopartikel yang terjadi di Reaktor

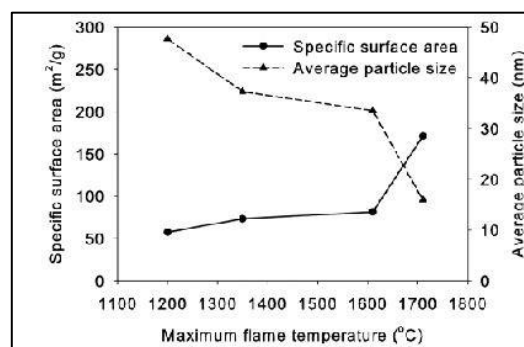
Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9, Proses FASP dapat digunakan untuk menghasilkan oksida logam dengan partikel berukuran nano (Nunes dkk., 2019). Proses FASP memanfaatkan proses dekomposisi termal, yang membutuhkan suhu tinggi dan waktu tinggal yang singkat. Sistem utama pada metode FASP terdiri dari laju alir gas pembawa (*carrier gas*) untuk mendorong droplet menuju reaktor, *spray* berfungsi sebagai penyemprot larutan dalam bentuk droplet yang telah teratomisasi, sistem pembakaran berfungsi untuk menghilangkan pelarut sehingga terbentuk partikel padatan dan mempercepat oksidasi, dan system penangkapan dan penyaringan partikel menggunakan bag filter (Santoso, 2012 dalam Suryono, Margono dan Kristiawan, 2017). Metode ini memiliki beberapa keunggulan seperti waktu tinggal yang singkat, tingkat produksi dan kemurnian yang tinggi, distribusi ukuran partikel yang kecil, dan reproduktifitas yang sangat baik (Malik, Chan dan Azimi, 2021). FASP

memberikan keuntungan dalam segi biaya dibandingkan dengan metode sintesis lainnya. Terlepas dari keuntungan yang diberikan, metode ini memiliki kelemahan dimana terdapat partikel yang terbentuk berukuran lebih dari 2 μm . Partikel yang berukuran lebih dari 2 μm ini terbentuk dari tetesan yang berukuran besar dan berongga akibat presipitasi permukaan yang cepat dan pembentukan lelehan selama proses sintesis (Lengyel, Elhassid, dkk., 2014).

Faktor utama yang memengaruhi sifat partikel pada *Flame Assisted Spray Pyrolysis* antara lain konsentrasi prekursor, ukuran tetesan (droplet), laju aliran gas, dan karakteristik nyala api (Li dkk., 2016). Faktor yang memengaruhi ukuran partikel pada proses *Flame Assisted Spray Pyrolysis* adalah:

1. Temperatur api

Pada Gambar 2.10 dapat dilihat pengaruh temperatur api terhadap ukuran partikel. Semakin tinggi temperatur api maka material yang dihasilkan makin berstruktur nano. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan material nanosilika (SiO_2) dengan *tetraethylorthosilicate* (TEOS) sebagai bahan baku dengan konsentrasi 0,5 M. Variasi temperatur yang digunakan yaitu 1200°C , 1350°C , 1610°C , dan 1710°C dengan mengontrol laju aliran gas H_2 dari 3 sampai 6 L/menit (Cho dkk., 2009).

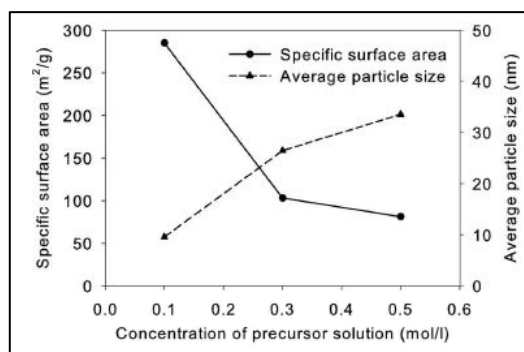


Sumber: (Cho dkk., 2009).

Gambar 2.10 Pengaruh Temperatur Api Terhadap Ukuran Partikel Nanosilika

2. Konsentrasi Prekursor

Pada Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa pengaruh konsentrasi prekursor terhadap ukuran partikel. Semakin rendah konsentrasi prekursor maka material yang dihasilkan makin berstruktur nano. Penelitian ini dilakukan oleh Cho, dkk (2009) untuk mendapatkan material nanosilika (SiO_2) dengan *tetraethylorthosilicate* (TEOS) sebagai bahan baku dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 M dengan temperatur yang digunakan 1610°C (Cho dkk., 2009).

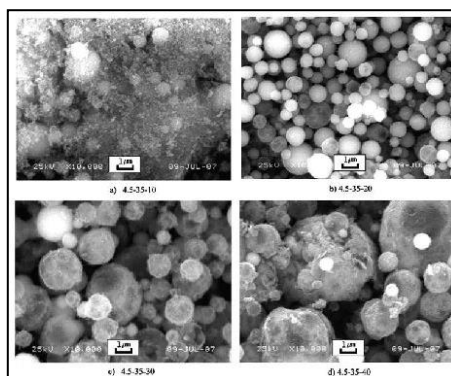


Sumber: (Cho dkk., 2009).

Gambar 2.11 Pengaruh Konsentrasi Prekursor Terhadap Ukuran Partikel Nanosilika

3. Waktu kontak dengan api

Pengaruh waktu kontak dengan api melalui pengaturan debit gas pembawa prekursor (*carrier gas*) dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Sumber: (Cho dkk., 2009).

Gambar 2.12 Pengaruh Waktu Kontak dengan Api Melalui Variasi Laju Aliran *Fuel*, *Oxidizer*, dan *Carrier Gas* Terhadap Ukuran Partikel *Hydroxyapatite*

Pada Gambar 2.12 terlihat jelas bahwa pengaruh peningkatan laju aliran *carrier gas* dari 10 L/menit sampai 40 L/menit dapat menyebabkan material berstruktur mikro hal ini disebabkan semakin tinggi laju aliran gas pembawa akan mengurangi waktu kontak dengan api sehingga sebagian prekursor mengalami evaporasi tidak sempurna di dalam api yang akan menyebabkan material masih berstruktur mikro (Cho dkk., 2009).

2.6. Karakterisasi dan Analisis Material

2.6.1. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Thermogravimetric analysis (TGA) adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan stabilitas termal material dan fraksi komponen volatilnya dengan memantau perubahan berat yang terjadi saat sampel dipanaskan pada laju konstan (Rajisha dkk., 2011). TGA memantau perubahan berat suatu zat sebagai fungsi suhu atau waktu karena spesimen sampel dikenai program suhu terkontrol dalam atmosfer terkontrol (Inan, 2017).

TGA dilakukan pada instrumen penganalisis termogravimetri yang terdiri dari wadah sampel yang didukung oleh skala presisi yang terletak di dalam tungku dengan suhu kontrol yang dapat diprogram. Suhu umumnya meningkat pada laju konstan (atau untuk beberapa aplikasi suhu dikontrol untuk kehilangan massa yang konstan) untuk menimbulkan reaksi termal. Reaksi termal dapat terjadi di bawah berbagai atmosfer termasuk: udara, vakum, gas inert, gas pengoksidasi/pereduksi, gas korosif, gas karburasi, uap cairan atau "atmosfer yang dihasilkan sendiri"; serta berbagai tekanan termasuk: vakum tinggi, tekanan tinggi, tekanan konstan, atau tekanan terkontrol. Wadah sampel ini ditempatkan dalam oven dan dipanaskan atau didinginkan selama percobaan.

Massa, suhu, dan waktu dianggap sebagai pengukuran dasar dalam analisis termogravimetri serta banyak pengukuran tambahan dapat diturunkan dari ketiga pengukuran dasar ini. Data termogravimetri yang dikumpulkan dari

reaksi termal dikompilasi ke dalam plot massa atau persentase massa awal pada sumbu y versus suhu atau waktu pada sumbu x. Plot ini, yang sering dihaluskan, disebut sebagai kurva TGA. Turunan pertama dari kurva TGA (kurva DTG) dapat diplot untuk menentukan titik belok yang berguna untuk interpretasi mendalam serta analisis termal diferensial. Sebuah TGA dapat digunakan untuk karakterisasi bahan melalui analisis pola dekomposisi karakteristik. Ini adalah teknik yang sangat berguna untuk mempelajari bahan polimer, termasuk termoplastik, termoset, elastomer, komposit, film plastik, serat, pelapis, cat, dan bahan bakar (Bottom, 2008; Vyazovkin, 2012).

2.6.2. X-Ray Diffraction Machine (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan salah satu proses analisis yang non-destruktif dan sekarang menjadi teknik umum untuk mempelajari struktur kristal dan jarak atom. XRD didasarkan pada interferensi konstruktif sinar-X monokromatik dan sampel kristal. Sinar-X ini dihasilkan oleh tabung sinar katoda, disaring untuk menghasilkan radiasi monokromatik, dikolimasikan untuk berkonsentrasi, dan diarahkan ke sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Interaksi sinar datang dengan sampel menghasilkan interferensi konstruktif (dan sinar difraksi) ketika kondisi memenuhi hukum Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

Keterangan:

n = Orde difraksi (1,2,3,..)

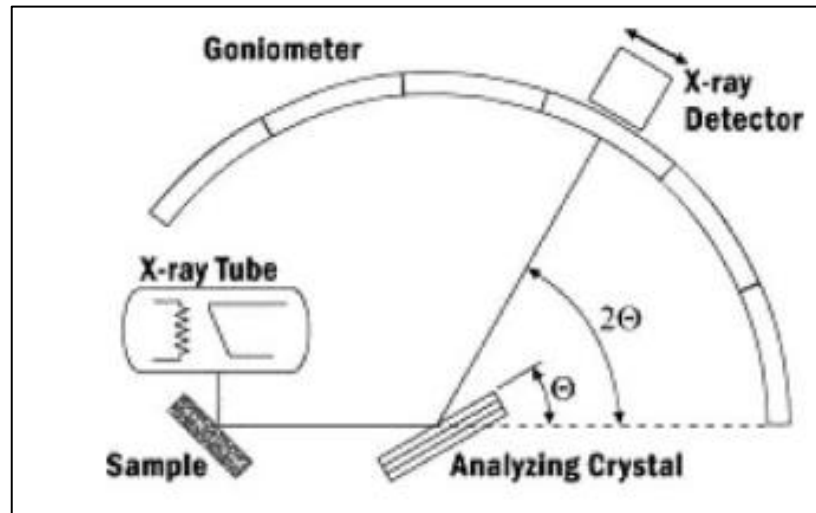
λ = Panjang gelombang sinar-X

d = Jarak kisi

θ = Sudut difraksi (Bunaciu, Udriștioiu dan Aboul-Enein, 2015).

X-Ray ditembakkan ke kisi kristal dari suatu atom dan kisi kristal tersebut akan memantulkan cahaya X-Ray membentuk sudut θ . Cahaya yang terpantulkan kemudian akan ditangkap oleh detektor dan dianalisis. Dari nilai θ akan diketahui nilai d yang merupakan jarak antara atom yang unik untuk setiap atom. Dengan mengetahui nilai dari jarak antar atom, dapat diketahui pula jenis

atom yang didapatkan dalam sampel. Hasil analisis dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit yang setara dengan sumbu-x. Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.



Sumber: (Bunaciu, Udriștioiu dan Aboul-Enein, 2015).

Gambar 2.13 Diagram Skema Sistem Difraktometer

XRD terdiri dari tiga elemen dasar: tabung sinar-X, tempat sampel, dan detektor sinar-X (Connolly, 2007). Sinar-X dihasilkan dalam tabung sinar katoda dengan memanaskan filamen untuk menghasilkan elektron, mempercepat elektron menuju target dengan menerapkan tegangan, dan membongkar bahan target dengan elektron. Ketika elektron memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron kulit bagian dalam dari bahan target, karakteristik spektrum sinar-X dihasilkan. Spektrum ini terdiri dari beberapa komponen, yang paling umum adalah K_{α} dan K_{β} (Bunaciu, Udriștioiu dan Aboul-Enein, 2015). Dengan teknik khusus, difraksi sinar-X (XRD) dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal dengan menggunakan penyempurnaan Rietveld, menentukan jumlah modal mineral (analisis kuantitatif), mengkarakterisasi sampel film tipis, dan melakukan pengukuran tekstur, seperti orientasi butir, dalam sampel polikristalin (Brindley dan Brown, 1980 dalam Bunaciu, Udriștioiu dan Aboul-Enein, 2015).

2.6.3. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Spektrometri merupakan metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan radiasi yang dihasilkan atau diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu bagian dari spektrometri adalah *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) yang merupakan alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Cantle, 1982 dalam Wibisono, 2017).

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) juga didasarkan pada hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa ketika suatu sinar atau cahaya (I_0) polikromatis dilewatkan pada suatu bagian atau objek atau larutan, cahaya tersebut akan diteruskan, dipantulkan dan diserap, cahaya yang diserap tersebut yang akan diukur absorbansinya pada panjang gelombang tertentu. Bagian atau larutan atau medium yang dilewati oleh cahaya (b) berhubungan dengan besarnya energi yang diserap yang dinyatakan sebagai hukum Lambert yaitu:

$$\text{Log } I_0/I_i = Kb$$

Selain itu juga terdapat hubungan antara konsentrasi padatan dalam larutan yang digunakan dengan besarnya absorpsi cahaya yang dinyatakan seperti dibawah ini:

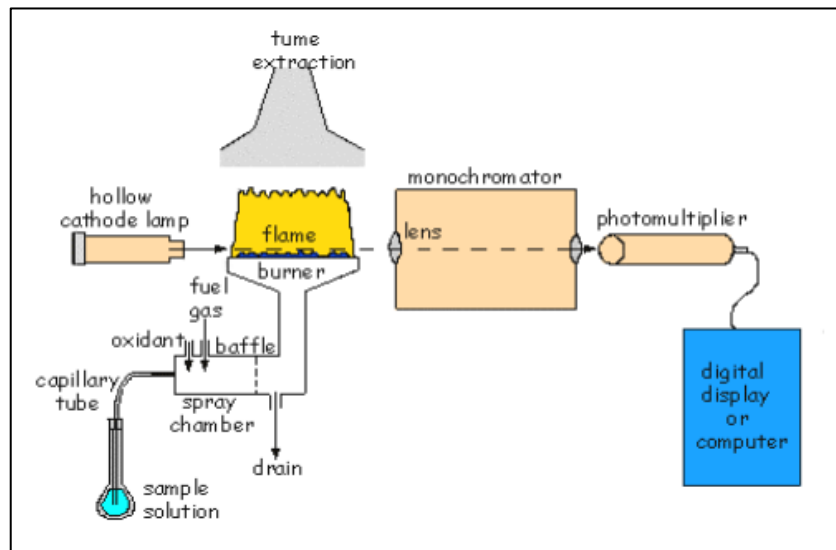
$$\text{Log } I_0/I_i = Kc$$

Sehingga dari kedua pernyataan di atas dapat dihubungkan menjadi hukum Lambert-Beer yaitu:

$$\text{Log } I_0/I_i = Kbc$$

$$A = abc$$

Dimana $\text{Log } I_0/I_i$ adalah absorban atau biasa dinyatakan dengan A , dan c adalah konsentrasi zat terlarut yang menyerap cahaya dengan satuan mol/L atau g/L (Sari, 2018).



Sumber: (De Lloyd, 2000).

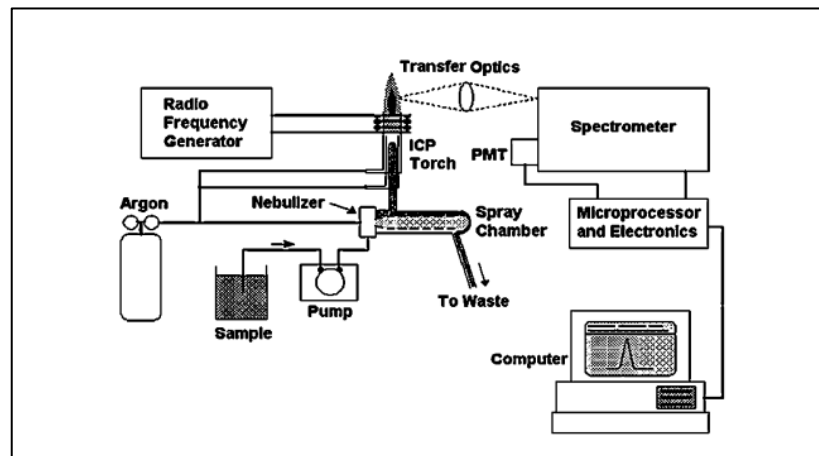
Gambar 2.14 Prinsip Kerja Alat *Atomic Absorption Spectrometer*

Mula-mula larutan sampel disedot ke dalam ruang semprot melalui pipa kapiler. Sampel cair dialirkan dan dicampur dengan gas yang mudah terbakar seperti asetilena dan udara atau asetilena dan dinitrogen oksida (disebutkan dalam diagram sebagai bahan bakar gas dan oksidan, Gambar 2.14) di ruang semprot dan dibakar dalam nyala api dan atom individu dari sampel dilepaskan untuk membentuk awan di dalam nyala api. Atom-atom unsur menjadi bebas dan untuk membawa atom-atom unsur dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi dengan melewati sinar UV diperlukan melalui lampu katoda berongga. Saat menyerap sinar UV pada panjang gelombang tertentu, atom logam keadaan dasar ditransisikan ke keadaan elektronik yang lebih tinggi. Daerah spektrum yang akan diukur dipilih oleh monokromator. Garis spektral terisolasi jatuh pada *photomultiplier*, detektor dan output diperkuat dan dikirim ke meter perangkat pembacaan, digital atau analog atau melalui sistem pemrosesan data komputer. Data tersebut diolah melalui perangkat lunak. Penyerapan panjang gelombang yang dipilih diukur dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenai detektor *photomultiplier* dan secara langsung berhubungan dengan jumlah elemen dalam sampel. Limbah dialirkan melalui pipa pembuangan (Paul dkk., 2016).

2.6.4. *Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)*

Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) adalah salah satu alat analisis yang paling kuat dan populer untuk penentuan elemen jejak dalam berbagai jenis sampel. ICP-OES dapat disebut juga sebagai ICP-AES (*Atomic Emission Spectroscopy*), tetapi tidak direkomendasikan untuk mencegah kebingungan dengan *Auger Electron Spectroscopy (AES)*. Prinsip ICP-OES menggunakan fakta bahwa atom dan ion dapat menyerap energi untuk memindahkan elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Pada alat ICP-OES, sumber energinya adalah panas dari plasma argon yang beroperasi hingga ~ 10.000 K. Prinsip ICP-OES bergantung pada atom-atom tereksitasi yang melepaskan cahaya pada panjang gelombang tertentu saat mereka bertransisi ke tingkat energi yang lebih rendah. (Hou dkk., 2017). ICP menggunakan plasma argon yang diinjeksi dengan sampel cairan yang diatomisasi. Sampel berionisasi dalam plasma dan ion-ion memancarkan cahaya pada panjang gelombang khas yang berbeda-beda, yang kemudian diukur (Agilent Technologies Inc., 2021).

Prinsip umum ICP-OES adalah mengukur intensitas energi/radiasi yang dipancarkan oleh suatu unsur yang mengalami perubahan tingkat energi atom (eksitasi/ionisasi). Larutan sampel disedot dan dikirim ke nebulizer melalui tabung kapiler. Sebuah *nebulizer* mengubah larutan sampel menjadi bentuk aerosol dan disuntikkan oleh ICP. Pada suhu plasma sampel terionisasi dan tereksitasi. Atom yang tereksitasi kembali ke keadaan semula (keadaan dasar) dan memancarkan radiasi. Bundel sinar ini dipisahkan oleh optik. Cahaya yang tersebar muncul berturut-turut pada panjang gelombang masing-masing elemen dan diubah menjadi sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan cahaya yang dipancarkan oleh elemen tersebut. Sinyal ini diproses oleh sistem pemrosesan data. (Life dan Sciences, 2004; Khan, 2019).



Sumber: (Life dan Sciences, 2004).

Gambar 2.15 Prinsip dan Komponen Utama dari Instrumen ICP-OES

2.6.5. *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

SEM-EDX merupakan alat yang digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif elemen yang didasarkan pada analisis *spectral* radiasi sinar-X. Karakteristik yang dipancarkan dari atom sampel pada iradiasi dengan berkas elektron yang difokuskan dari SEM. SEM-EDX merupakan dua perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analitis dan efisien. Pada dasarnya SEM-EDX merupakan pengembangan SEM. Analisa SEM-EDX dilakukan untuk memperoleh gambaran permukaan atau fitur material dengan resolusi yang sangat tinggi hingga memperoleh suatu tampilan dari permukaan sampel yang kemudian di komputasikan dengan software untuk menganalisis komponen materialnya baik dari kuantitatif maupun kualitatif (Julinawati dkk., 2015; Girão, Caputo dan Ferro, 2017).

Pemindaian mikroskop elektron memungkinkan analisis dan pengamatan permukaan bahan organik dan anorganik yang heterogen. Sampel yang dianalisis disinari dengan berkas elektron, yang dapat berupa statis atau bergerak melintasi permukaan yang diperiksa dalam pola *grid*. Sinyal yang dihasilkan ketika berkas berinteraksi dengan permukaan spesimen meliputi

elektron sekunder, elektron hamburan balik, elektron Auger, sinar-X dan foton dengan energi berbeda namun, sinyal ini adalah elektron sekunder dan elektron hamburan balik yang paling penting, karena mereka bervariasi sesuai dengan topografi permukaan yang berbeda dan memungkinkan untuk menghasilkan gambar resolusi tinggi 1 nm. Ketika digabungkan dengan detektor sinar-X dispersi energi (EDX), informasi komposisi dapat dikumpulkan secara bersamaan ke informasi topografi dan kristalografi. Interaksi berkas elektron dengan sampel menghasilkan emisi sinar-X. Karakteristik sinar-X dari unsur-unsur tertentu dipisahkan menjadi spektrum energi oleh detektor sinar-X dispersi energi (EDX atau EDS), yang menganalisis kelimpahan unsur-unsur tertentu dalam sampel, batas deteksi sekitar 1000 ppm atau 0,1 wt%. (Ellingham, Thompson dan Islam, 2018).

2.6.6. Particle Size Analyzer (PSA)

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengetahui ukuran dari suatu partikel antara lain metode ayakan (*Sieve analyses*), *laser diffraction* (LAS), metode sedimentasi, analisis gambar (mikrografi), *electronicsensing zone* dan *electron microscope*. *Particle Size Analyzer* (PSA) adalah alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi distribusi ukuran partikel sampel. PSA dapat diaplikasikan pada material padat, suspensi, emulsi dan aerosol. Untuk menganalisis suatu sampel banyak variasi metode yang dapat dilakukan, Beberapa metode dapat digunakan untuk menganalisis partikel dalam jangkauan yang luas, dan beberapa metode lagi digunakan untuk penerapan yang spesifik. PSA juga dapat digunakan untuk menentukan volume setiap partikel di dalam sampel. Penggunaan difraksi laser merupakan instrumen yang umum digunakan dalam metode pengukuran partikel. Terutama ukuran partikel 0,5 μm -100 μm (Nengsih dkk., 2013).

Prinsip dari *Laser Diffraction* sendiri ialah ketika partikel-partikel melewati berkas sinar laser dan cahaya dihamburkan oleh partikel-partikel tersebut dikumpulkan melebihi rentang sudut yang berhadapan langsung. Distribusi dari intensitas yang dihamburkan ini yang akan dianalisis oleh

komputer sebagai hasil distribusi ukuran partikel. Sudut cahaya hamburan berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Semakin besar sudut hamburan maka semakin kecil ukuran partikel. Metode analisis ukuran partikel kurang dari 0,5 μm adalah menggunakan metode *Dynamic Light Scattering*. Metode ini merupakan metode termudah yang dapat digunakan (Syvitski, 1991; Nengsih dkk., 2013).

Keunggulan penggunaan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran partikel adalah:

- a. Lebih akurat dan mudah digunakan, pengukuran partikel dengan menggunakan PSA lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan alat lain seperti TEM ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel dari sampel yang akan diuji didispersikan ke dalam sebuah media sehingga ukuran partikel yang terukur merupakan ukuran partikel tunggal.
- b. Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sampel, dalam artian penyebaran ukuran rata-rata partikel dalam suatu sampel.
- c. Rentang pengukuran dari 0,6 nanometer hingga 7 mikrometer (Rusli, 2011 dalam Jatmiko, 2019).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen pembuatan nano partikel NMC dilakukan di Laboratorium Pusat Teknologi Material – Badan Riset dan Inovasi Nasional.

3.1.2. Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Agenda Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Minggu ke															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	Studi Literatur & Jurnal	■	■	■	■												
2.	Pembuatan Larutan Prekursor				■	■	■	■	■								
3.	Optimasi FASP					■	■	■	■								
4.	FASP Baterai Bekas NMC									■	■	■	■				
5.	Pengujian Sampel										■	■	■				
6.	Penyusunan Draft Skripsi											■	■	■	■	■	■

3.2. Alat dan Bahan Pembuatan Katoda NMC

3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas beaker berukuran 1 L, 500 mL, 250 mL, 100 mL, labu ukur 50 mL, gelas ukur 100 mL, gelas ukur 10 mL, corong pisah, pipet tetes, penangas, *magnetic stirrer*, timbangan digital, oven, ayakan - 400 #, spatula, mortar, alu dan termokopel sebagai alat laboratorium. Pada proses sintesis katoda digunakan rangkaian *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP, FiLa) yang terdiri dari *peristaltic liquid*

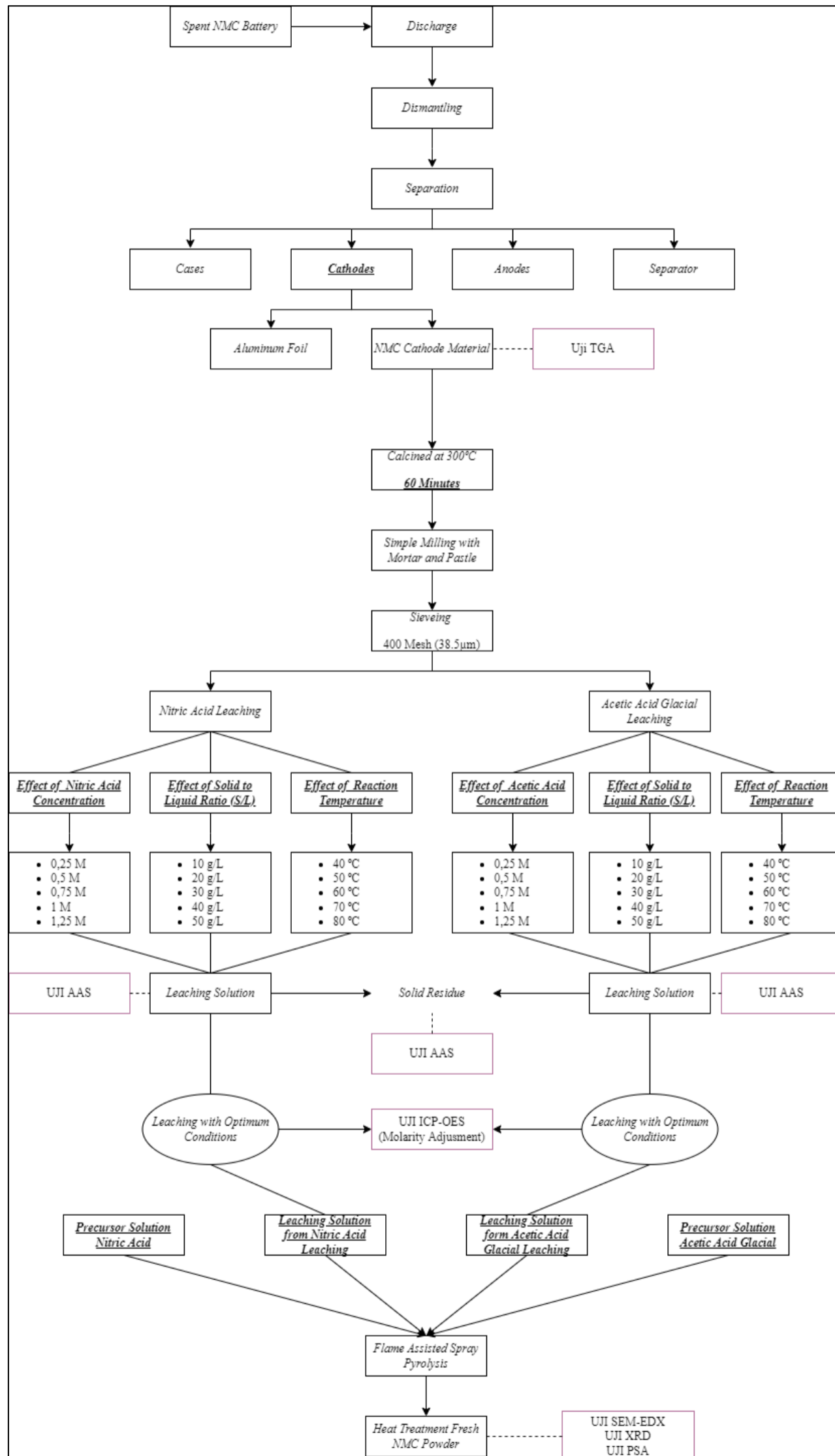
dosing pump, kompresor, *air brush*, plat *zincalume* dan *microfiber filter* sebagai kolektor. Proses FASP memanfaatkan gas LPG sebagai bahan bakar dan oksigen sebagai gas pembawa. RIGOL tipe DL 3021 sebagai alat discharge baterai LIB bekas. *Muffle Furnace* (Nabertherm) digunakan untuk proses kalsinasi material aktif katoda untuk menghilangkan pengikat (PVDF). *Thermogravimetric Analysis* (TGA) untuk menentukan temperatur *heat treatment* material aktif katoda, *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan struktur dan fasa kristal material aktif katoda setelah *pre-treatment* dan sintesis, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dan *Inductively Coupled Plasma* jenis *Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) untuk menentukan konsentrasi unsur logam dalam setiap prosesnya. *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX, PhenomPro X - Thermofisher) untuk mengetahui morfologi atau struktur permukaan dari material aktif katoda hasil FASP, dan *Particle Size Analyzer* (PSA, CILAS) untuk mengukur distribusi material aktif katoda dengan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS) menggunakan teknik *Non-Invasive Back Scatter* (NIBS)

3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi katoda baterai LIB bekas (Samsung, ICR18650-22F, 2200mAh), asam nitrat (HNO₃, 65%, Merck), asam asetat glasial (C₂H₄O₂, 100%, Merck), hidrogen peroksida (H₂O₂, 50%), aquades (H₂O, 99%), dan *cobalt (II) nitrate hexahydrate* (Co(NO₃)₂.6H₂O, Merck) dan *lithium karbonat* (Li₂CO₃, Merck). Bahan kimia yang disebutkan sebelumnya digunakan untuk proses *leaching* material katoda LIB bekas dan *molarity adjustment* larutan prekursor. Serta digunakan *liquefied petroleum gas* (Gas LPG, Bright Gas), sebagai bahan bakar proses *Flame Assisted Spray Pyrolysis*.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian serta membuat penelitian lebih sistematis dan terarah diperlukan tahapan proses penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4. Tahapan Penelitian

3.4.1. Discharge dan Dismantling

Discharging LIB bekas dilakukan dengan alat RIGOL DL 3021 dengan *current* 1 A, *range* 4 A, *V_Stop* 2 V, dan *Von* 0.5 V. Selanjutnya dilakukan pembongkaran secara manual. Hasil bongkaran baterai dipilah antara anoda dan lembaran Cu, separator, dan katoda dan lembaran Al. Katoda dipisahkan dari lembaran Al secara manual dengan menggunakan ujung spatula. Katoda yang didapat selanjutnya ditimbang dan digunakan untuk proses selanjutnya.

3.4.2. Preparasi Sampel Analisis TGA

Analisis TGA dilakukan pada sampel awal katoda yang akan melalui proses *heat treatment* untuk mendapatkan suhu optimum kalsinasi yang akan menyebabkan dekomposisi *binder*. Preparasi sampel dilakukan dengan menyiapkan 5-10 gram katoda dan diletakkan pada cawan kecil dari bahan alumina. Pemilihan bahan dari cawan ini perlu disesuaikan dengan bahan uji. Bahan uji harus dipastikan tidak bereaksi dengan bahan cawan serta tidak lengket ketika dipanaskan.

3.4.3. Karakterisasi dan Heat Treatment Katoda

Katoda yang didapatkan selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan TGA untuk mengetahui suhu optimum yang akan menyebabkan dekomposisi *binder* (PVDF) karena *binder* merupakan pengotor yang tidak diinginkan dalam proses ekstraksi (*leaching*). Setelah mengetahui suhu optimum, material aktif katoda dikalsinasi dengan alat *muffle furnace*. Selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif dengan AAS untuk mengetahui kadar logam di dalam baterai dan menentukan rasio dari kadar logam yang terdapat pada baterai.

3.4.4. Grinding dan Sieving

Material aktif katoda yang telah melalui proses *heat treatment* direduksi ukurannya dengan mortar dan alu guna memperbesar luas permukaan material

aktif katoda. Selanjutnya, material aktif katoda diklasifikasi dengan ayakan 400 mesh.

3.4.5. Leaching

Proses *leaching* dilakukan dengan menggunakan asam nitrat dan asetat sebagai pelarut, serta hidrogen peroksida (H₂O₂) sebagai oksidator. Parameter pada proses leaching ditetapkan seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Operasi *Leaching* Katoda LIB Bekas dengan HNO₃ dan CH₃COOH

Kondisi setiap percobaan <i>leaching</i> HNO ₃					
Variasi <i>Leaching</i>	HNO ₃ (mol/L)	H ₂ O ₂ (vol%)	Rasio S/L (g/L)	Temperatur (°C)	Waktu Reaksi (menit)
Konsentrasi Asam	0,25 – 1,25	1,7	20	60	60
Rasio S/L	0,75	1,7	10 - 30	60	60
Temperatur	0,75	1,7	20	40 – 80	60
Kondisi setiap percobaan <i>leaching</i> CH ₃ COOH					
Variasi <i>Leaching</i>	CH ₃ COOH (mol/L)	H ₂ O ₂ (vol%)	Rasio S/L (g/L)	Temperatur (°C)	Waktu Reaksi (menit)
Konsentrasi Asam	0,25 – 1,25	4	20	60	60
Rasio S/L	0,75	4	10 - 30	60	60
Temperatur	0,75	4	20	40 - 80	60

Filtrat dan residu hasil *leaching* dianalisis menggunakan AAS. Efisiensi *leaching* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Leaching\ Efficiency\ (\%) = \frac{C_f}{C_f + C_r} \times 100$$

Persamaan diatas digunakan apabila produk hasil *leaching* menghasilkan filtrat dan residu. Sedangkan untuk kondisi *leaching* yang tidak menghasilkan residu dapat dihitung dengan persamaan:

$$Leaching\ Efficiency\ (\%) = \frac{C_f \times Dilution}{C_i} \times 100$$

Dengan C_f merupakan konsentrasi akhir logam dalam ppm yang terbaca oleh AAS, C_r merupakan konsentrasi logam yang terdapat di residu dan C_i merupakan konsentrasi awal logam yang dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Konsentrasi awal/residu (ppm)} = \frac{P \times 1000 \times M\%}{\frac{V}{1000}}$$

Dimana P adalah berat *feed* atau residu yang tercatat untuk percobaan dalam gram, $M\%$ adalah persentase logam dalam serbuk dan V adalah volume dalam ml yang digunakan untuk percobaan.

3.4.5.1. Leaching Anorganik

Proses *leaching* anorganik dilakukan dengan HNO_3 sebagai pelarut asam. Pada *leaching* variasi konsentrasi asam, HNO_3 disiapkan dengan mengencerkan HNO_3 15,5 M dengan aquades sampai konsentrasi 0,25 M, 0,5 M, 0,75 M, 1 M dan 1,25 M. 100 mL hasil larutan HNO_3 selanjutnya dipanaskan dalam penangas sampai suhu 60°C . Katoda yang telah diperoleh dari proses *discharging* dan *dismantling* ditimbang sebanyak 2 gram. Katoda lalu dimasukkan ke larutan HNO_3 panas dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya ditambahkan 3,4 mL H_2O_2 50% sebagai oksidator. Proses dilakukan selama 60 menit pada suhu konstan 60°C dengan bantuan *magnetic stirrer*.

Pada *leaching* variasi temperatur, HNO_3 disiapkan dengan mengencerkan HNO_3 15,5 M dengan aquades sampai konsentrasi 0,75 M. 100 mL hasil larutan HNO_3 selanjutnya dipanaskan dalam penangas sampai suhu 40, 50, 60, 70, dan 80°C . Katoda yang telah diperoleh dari proses *discharging* dan *dismantling* ditimbang sebanyak 2 gram. Katoda lalu dimasukkan ke larutan HNO_3 panas dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya ditambahkan 3,4 mL H_2O_2 50% sebagai oksidator. Proses dilakukan selama 60 menit pada suhu konstan 60°C dengan bantuan *magnetic stirrer*.

Pada *leaching* variasi *solid to liquid ratio* (S/L), HNO₃ disiapkan dengan mengencerkan HNO₃ 15,5 M dengan aquades sampai konsentrasi 0,75 M. 100 mL hasil larutan HNO₃ selanjutnya dipanaskan dalam penangas sampai suhu 60°C. Katoda yang telah diperoleh dari proses *discharging* dan *dismantling* ditimbang sebanyak 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 gram. Katoda lalu dimasukkan ke larutan HNO₃ panas dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya ditambahkan 3,4 mL H₂O₂ 50% sebagai oksidator. Proses dilakukan selama 60 menit pada suhu konstan 60°C dengan bantuan *magnetic stirrer*.

Larutan hasil *leaching* kemudian disaring agar diperoleh endapan sisa katoda. Endapan kemudian dikeringkan dan ditimbang, sedangkan larutan *leaching* digunakan untuk proses selanjutnya.

3.4.5.2. *Leaching* Organik

Proses *leaching* anorganik dilakukan dengan CH₃COOH sebagai pelarut asam. Pada *leaching* variasi konsentrasi asam, CH₃COOH disiapkan dengan mengencerkan CH₃COOH 17,5 M dengan aquades sampai konsentrasi 0,25 M, 0,5 M, 0,75 M, 1 M dan 1,25 M. 100 mL hasil larutan CH₃COOH selanjutnya dipanaskan dalam penangas sampai suhu 60°C. Katoda yang telah diperoleh dari proses *discharging* dan *dismantling* ditimbang sebanyak 2 gram. Katoda lalu dimasukkan ke larutan CH₃COOH panas dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya ditambahkan 3,4 mL H₂O₂ 50% sebagai oksidator. Proses dilakukan selama 60 menit pada suhu konstan 60°C dengan bantuan *magnetic stirrer*.

Pada *leaching* variasi temperatur, CH₃COOH disiapkan dengan mengencerkan CH₃COOH 17,5 M dengan aquades sampai konsentrasi 0,75 M. 100 mL hasil larutan CH₃COOH selanjutnya dipanaskan dalam penangas sampai suhu 40, 50, 60, 70, dan 80°C. Katoda yang telah diperoleh dari proses *discharging* dan *dismantling* ditimbang sebanyak 2 gram. Katoda lalu dimasukkan ke larutan CH₃COOH panas dan diaduk dengan

magnetic stirrer. Selanjutnya ditambahkan 3,4 mL H₂O₂ 50% sebagai oksidator. Proses dilakukan selama 60 menit pada suhu konstan 60°C dengan bantuan *magnetic stirrer*.

Pada *leaching* variasi *solid to liquid ratio* (S/L), CH₃COOH disiapkan dengan mengencerkan CH₃COOH 17,5 M dengan aquades sampai konsentrasi 0,75 M. 100 mL hasil larutan CH₃COOH selanjutnya dipanaskan dalam penangas sampai suhu 60°C. Katoda yang telah diperoleh dari proses *discharging* dan *dismantling* ditimbang sebanyak 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 gram. Katoda lalu dimasukkan ke larutan CH₃COOH panas dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya ditambahkan 3,4 mL H₂O₂ 50% sebagai oksidator. Proses dilakukan selama 60 menit pada suhu konstan 60°C dengan bantuan *magnetic stirrer*.

Larutan hasil *leaching* kemudian disaring agar diperoleh endapan sisa katoda. Endapan kemudian dikeringkan dan ditimbang, sedangkan larutan *leaching* digunakan untuk proses selanjutnya.

3.4.6. Preparasi Sampel Analisis AAS dan ICP-OES

Analisis secara kuantitatif dengan AAS dilakukan pada setiap proses variasi parameter *leaching*, sedangkan analisis secara kuantitatif dengan ICP dilakukan pada *leaching* kondisi optimum. Preparasi sampel dilakukan dengan mengencerkan sampel dengan faktor pengenceran 50 dengan asam nitrat (HNO₃) 2%. HNO₃ 2% disiapkan dengan mengencerkan 31 mL HNO₃ 65% di labu ukur 1000 mL menggunakan aquades. 1 mL sampel diambil dan diencerkan dengan HNO₃ 2% di labu ukur 50 mL lalu diaduk selama 5 menit agar sampel homogen.

3.4.7. Molarity Adjustment

Setelah diperoleh konsentrasi dari masing-masing logam pada *leaching* kondisi optimum, dilakukan *molarity adjustment* guna mendapatkan katoda dengan komposisi yang diinginkan. *Molarity adjustment* dilakukan dengan

menghitung jumlah mol metal hasil *leaching*. Kemudian dari mol metal hasil *leaching*, dapat dihitung perbandingan mol NMC 111 pada larutan *leaching* optimum dengan menjadikan *lithium* sebagai basis. Dari data yang telah didapatkan, dapat dihitung jumlah mol metal yang perlu ditambahkan pada larutan *leaching* optimum dengan mempertimbangkan kesediaan bahan baku dan menghitung gram logam yang harus ditambahkan berdasarkan reaksi kimianya.

3.4.8. Flame Assisted Spray Pyrolysis

Total terdapat 4 jenis larutan sampel yang digunakan pada proses sintesis katoda dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* (FASP, FiLa) yakni 2 larutan prekursor yang berasal dari katoda NMC komersil dengan kode sampel NA (*Nitric Acid*) Komersil dan AA (*Acetic Acid*) Komersil dan 2 larutan prekursor yang berasal dari *leachate* katoda bekas dengan kode sampel NA LIB's dan AA LIB's. FASP terdiri dari *peristaltic liquid dosing pump* yang berguna memasok larutan prekursor (*feed*) dengan laju 35 mL/menit, kompresor, *air brush*, plat *zincalume* dan *microfiber filter* sebagai kolektor. Proses FASP memanfaatkan gas LPG sebagai bahan bakar dan oksigen sebagai gas pembawa dengan konsumsi 40 bar/Liter.

3.4.9. Heat Treatment

Katoda hasil sintesis FASP kemudian dikalsinasi pada suhu 800°C selama 6 jam dengan bantuan *muffle furnace*. Penambahan Li_2CO_3 sebanyak 5 wt% katoda berwarna coklat dilakukan untuk mengkompensasi kehilangan Li selama kalsinasi.

3.4.10. Preparasi Sampel Analisis PSA

Analisis kuantitatif dengan PSA dilakukan pada katoda hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Preparasi sampel dilakukan dengan menimbang 0,5 gram sampel uji dan dilarutkan dalam larutan sodium hexametaphosphate 0,1%. Sonikasi larutan yang akan diuji selama 10 menit.

Sonikasi dilakukan pada setiap larutan sampel uji sebelum dimasukkan dalam alat uji PSA.

3.4.11. Preparasi Sampel Analisis XRD

Analisis dengan XRD dilakukan pada katoda hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Pengujian dilakukan dengan variasi jenis larutan prekursor dan warna katoda hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Preparasi sampel dilakukan dengan mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi dan membersihkan tempat sampel dari debu dan memasukkan sampel yang akan dikarakterisasi pada *specimen chamber* kemudian mencetak hasil analisis XRD.

3.4.12. Preparasi Sampel Analisis SEM-EDX

Analisis dengan SEM-EDX dilakukan pada katoda hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Pengujian dilakukan dengan variasi jenis larutan prekursor dan warna katoda hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Preparasi sampel dilakukan dengan mempersiapkan sampel bubuk dan pelapisan dengan gas argon.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Percobaan

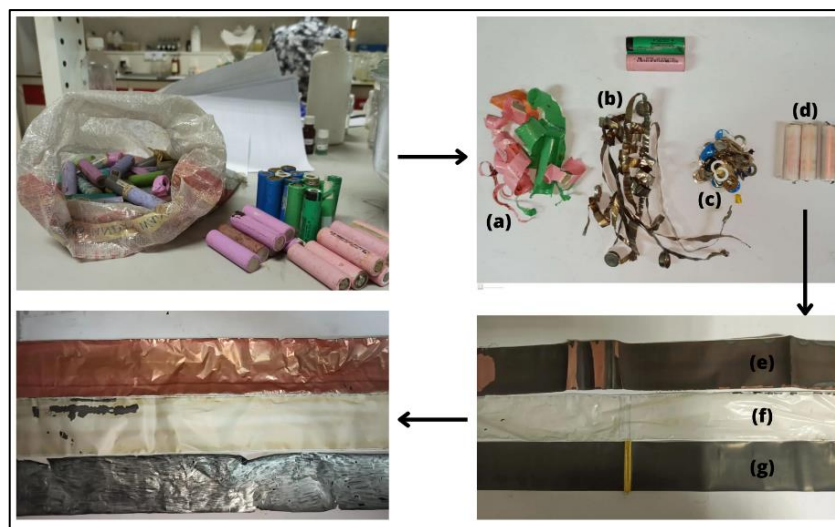
Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan nanopartikel NMC yang digunakan untuk material katoda LIB. Nanopartikel NMC berasal dari proses *recycling* LIB bekas melalui proses hidrometalurgi (*leaching*) dan sintesis dengan FASP (*Flame Assisted Spray Pyrolysis*). Proses *recycling* diawali dengan pengosongan muatan (*discharging*) dengan alat RIGOL DL 3021 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses Pengosongan Muatan LIB Bekas dengan RIGOL DL 3021

Pengosongan muatan LIB bekas merupakan *pre-treatment* dalam skema daur ulang katoda baterai untuk mengurangi energi sisa dan mencegah pelepasan panas selama pembongkaran. Proses *discharging* bertujuan untuk menghindari arus hubung singkat ketika LIB bekas dibongkar. Arus hubung singkat ini dapat menghasilkan panas dan mematikan pelarut yang mudah menguap dan mudah terbakar dalam larutan elektrolit, menyebabkan *inflammation* pada baterai (Yao dkk., 2020; Kim dkk., 2021).

LIB bekas yang telah melalui proses *discharging* akan dibongkar (*dismantling*) secara manual menggunakan tang potong kabel. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, LIB Bekas dipisahkan menjadi 4 bagian utama yakni plastik (a), *case* (b), komponen pelengkap (c) dan isi baterai (d). Selanjutnya, isi baterai yang berupa anoda (e) pada lembaran tembaga, separator (f), dan katoda (g) pada lembaran *aluminium* dipisahkan agar material aktif pada katoda tidak tercampur dengan grafit yang melekat di anoda. Material aktif pada katoda dipisahkan dari lembaran aluminium dengan bantuan ujung spatula. Proses ini dilakukan berulang hingga mendapatkan jumlah material aktif katoda yang dibutuhkan. Total baterai bekas yang digunakan 15 baterai jenis LCO, NMC, dan LMO dengan rata-rata material aktif katoda yang didapatkan sebanyak 12 gram per baterai.



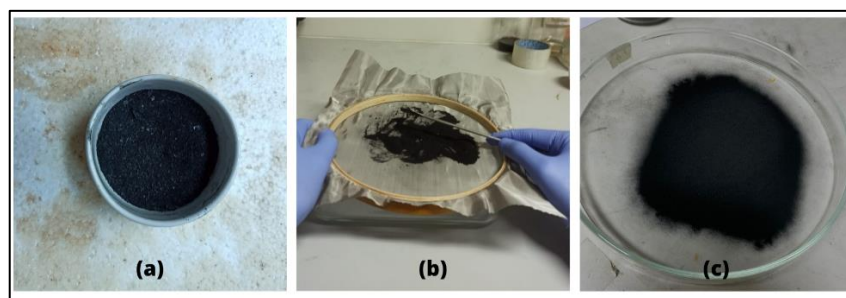
Gambar 4.2 Skema *Dismantling* LIB Bekas secara Manual

Sebagian material aktif katoda dipisahkan dan dikarakterisasi dengan TGA untuk mengetahui suhu kalsinasi yang optimum serta uji AAS untuk mengetahui konsentrasi awal logam yang terdapat pada katoda LIB bekas. Material aktif katoda yang telah didapatkan kemudian di kalsinasi menggunakan *muffle furnace* pada suhu 300°C selama 1 jam seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Tujuan utama dari kalsinasi material aktif katoda adalah untuk menghilangkan pengotor (*binder* dan karbon) (Chen dkk., 2018).



Gambar 4.3 Proses Kalsinasi Material Aktif Katoda dengan *Muffle Furnace*

Setelah perlakuan kalsinasi, material aktif katoda akan melalui proses reduksi ukuran (*grinding*) dengan bantuan mortar dan alu. Selanjutnya material aktif katoda akan diayak dengan *sieve* ukuran 38,5 mikron (400 mesh) guna memisahkan material aktif katoda dengan lembaran *aluminium* yang kemungkinan terkelupas saat proses pemisahan material aktif katoda dari lembaran *aluminium*. Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan material aktif katoda sebelum dikalsinasi hingga setelah *sieving*, terlihat bahwa material aktif katoda setelah *sieving* memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan seragam dibandingkan sebelum melalui proses *sieving*. Lembaran *aluminium* yang awalnya terkelupas dan terbawa juga tertahan pada *oversize sieve* 400 mesh.

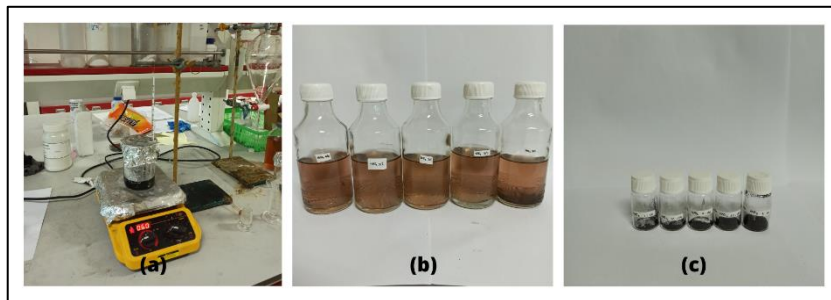


Gambar 4.4 Material Aktif Katoda (a) Setelah Kalsinasi (b) *Sieving* 400mesh (c) Setelah *Sieving*

Material aktif katoda yang telah melalui *grinding* dan *sieving* digunakan untuk proses *leaching* dengan parameter operasi *leaching* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Operasi *Leaching* Katoda LIB Bekas dengan HNO₃ dan CH₃COOH

Kondisi setiap percobaan <i>leaching</i> HNO ₃					
Variasi <i>Leaching</i>	HNO ₃ (mol/L)	H ₂ O ₂ (vol%)	Rasio S/L (g/L)	Temperatur (°C)	Waktu Reaksi (menit)
Konsentrasi Asam	0,25 – 1,25	1,7	20	60	60
Rasio S/L	0,75	1,7	10 - 30	60	60
Temperatur	0,75	1,7	20	40 – 80	60
Kondisi setiap percobaan <i>leaching</i> CH ₃ COOH					
Variasi <i>Leaching</i>	CH ₃ COOH (mol/L)	H ₂ O ₂ (vol%)	Rasio S/L (g/L)	Temperatur (°C)	Waktu Reaksi (menit)
Konsentrasi Asam	0,25 – 1,25	4	20	60	60
Rasio S/L	0,75	4	10 - 30	60	60
Temperatur	0,75	4	20	40 - 80	60



Gambar 4.5 (a) Proses *Leaching* Katoda LIB (b) Filtrat *leaching* (c) Residu *Leaching*

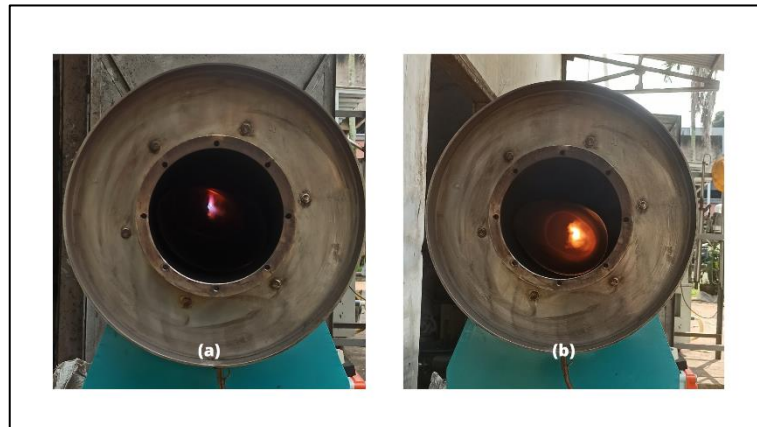
Proses *leaching* menghasilkan filtrat dan residu seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 (b) dan Gambar 4.5 (c) yang dipisahkan dengan bantuan kertas saring. Filtrat dan residu yang didapatkan kemudian dianalisis secara kuantitatif dengan AAS pada *leaching* dengan HNO₃ dan ICP-OES pada *leaching* dengan CH₃COOH untuk mengetahui persentase massa yang terkandung pada filtrat dan residu hasil *leaching*. Persentase massa yang diketahui digunakan untuk menentukan kondisi optimum *leaching* dengan membandingkan efisiensi *leaching* masing-masing percobaan *leaching*. Setelah didapatkan kondisi optimum *leaching* dilakukan kembali proses *leaching* baik dengan HNO₃ dan CH₃COOH untuk didapatkan

larutan prekursor yang nantinya akan digunakan sebagai bahan baku pada proses sintesis dengan metode FASP.



Gambar 4.6 *Co(ii) nitrate hexahydrate* sebagai Bahan Penambah Mol Metal Co

Sebelum proses FASP, perlu dilakukan *molarity adjustment*. Filtrat hasil *leaching* pada kondisi optimum dianalisis dengan ICP-OES guna mendapatkan kandungan unsur Li, Ni, Mn, dan Co dalam larutan prekursor *leaching* pada kondisi optimum. Dari data ICP-OES dapat dihitung jumlah mol metal hasil *leaching*. Kemudian dari mol metal hasil *leaching*, dapat dihitung perbandingan mol NMC 111 pada larutan *leaching* optimum dengan menjadikan *lithium* sebagai basis. Dari data yang telah didapatkan, didapatkan jumlah mol metal Co perlu penambahan sedangkan mol metal Ni dan Mn dalam kondisi berlebih pada larutan *leaching* optimum. Penambahan mol metal Co dilakukan dengan dengan perhitungan berdasarkan reaksi stoikiometri dan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku. Pada akhirnya dipilih *Co(ii) nitrate hexahydrate* (Gambar 4.6) sebagai bahan untuk penambahan mol metal Co. Sebanyak 0,932239 gram *Co(ii) nitrate hexahydrate* yang setara dengan massa Co^{2+} sebesar 0,20492 gram ditambahkan pada larutan *leaching* optimum asam nitrat, sedangkan pada larutan *leaching* optimum asam asetat ditambahkan 2,1293054 gram *Co(ii) nitrate hexahydrate* yang setara dengan massa Co^{2+} sebesar 0,08972 gram.



Gambar 4.7 Proses FASP (a) sebelum *Spray* Larutan Prekursor (*feed*)
(b) setelah *Spray*

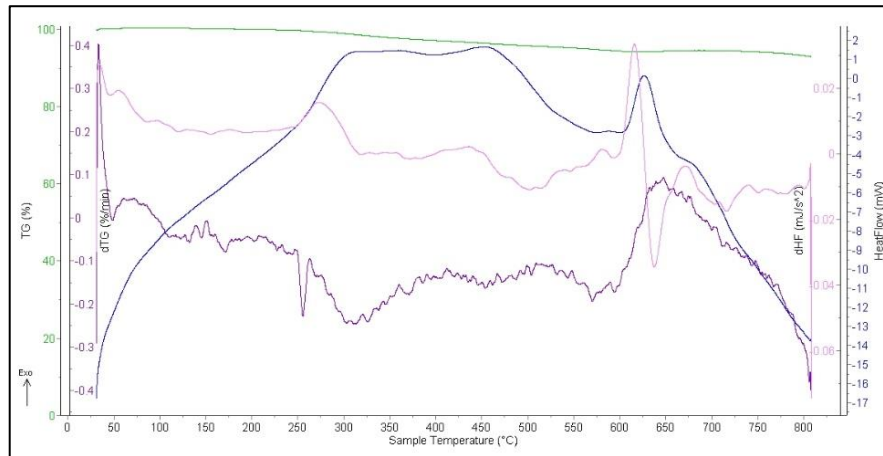
Proses FASP berlangsung pada suhu sekitar 600°C ditandai dengan nyala api merah pada Gambar 4.7 (b) dan pembacaan pada alat *thermogun*. FASP memanfaatkan gas LPG sebagai bahan bakar dan oksigen murni sebagai gas pembawa larutan prekursor dengan konsumsi 40 bar/Liter. *Peristaltic liquid dosing pump* yang berguna memasok larutan prekursor (*feed*) dengan laju 35mL/menit. Hasil sintesis FASP dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan visual yakni katoda berwarna hitam (ditandai dengan kode sampel genap) dan katoda yang berwarna coklat (ditandai dengan kode sampel ganjil). Katoda berwarna coklat kemudian dikalsinasi pada suhu 800°C selama 6 jam dengan bantuan *muffle furnace*. Penambahan Li_2CO_3 sebanyak 5 wt% katoda coklat dilakukan untuk mengkompensasi kehilangan Li selama kalsinasi.

Selanjutnya katoda hasil sintesis FASP dikarakterisasi dengan XRD untuk mengidentifikasi dan analisa fasa katoda. Selain XRD, dilakukan karakterisasi dengan SEM-EDX serta PSA guna mengidentifikasi morfologi, bentuk, komposisi, dan distribusi ukuran partikel katoda hasil sintesis FASP.

4.2. Hasil Uji TGA Katoda LIB Bekas

Analisis termal dilakukan menggunakan TGA untuk menentukan temperatur kalsinasi, perubahan berat reaksi dekomposisi dan analisa komposisi kuantitatif pada katoda LIB bekas. Uji TGA dilakukan di laboratorium Analisis

Kimia 2 Pusat Teknologi Material - BRIN (Gedung 224). Hasil bacaan alat kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

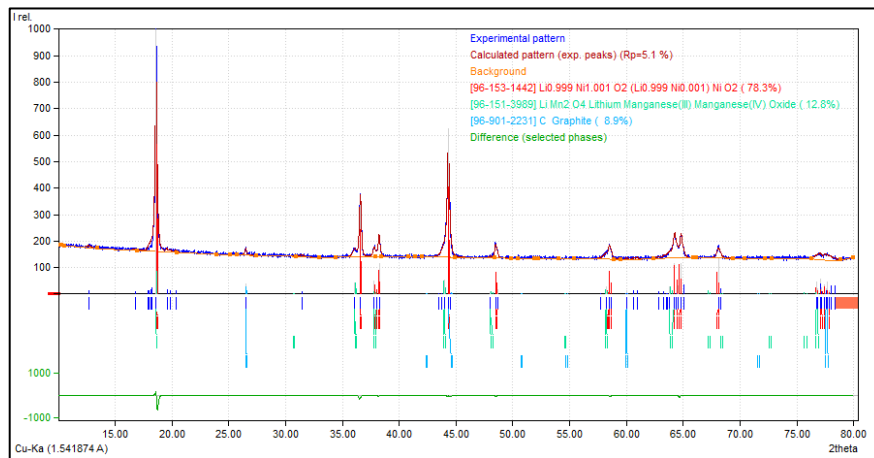


Gambar 4.8 Kurva TG, dTG, HF, dan dHF Dekomposisi Termal Katoda LIB Bekas

Sampel untuk pengujian TGA merupakan katoda LIB bekas yang telah melalui proses *grinding* dan *sieving* dengan *wiremesh* #400. *Grinding* dan *sieving* dilakukan untuk memisahkan katoda dengan lembaran *aluminium* agar tidak memengaruhi hasil analisis termal dari katoda LIB bekas. Hasil uji TGA didapatkan bahwa terdapat penurunan berat katoda LIB bekas sebesar 7,12% pada rentang suhu 31 - 800°C.

4.3. Hasil Uji XRD dan AAS Katoda LIB Bekas

Analisis mineralogi pada katoda LIB bekas dilakukan menggunakan XRD dan AAS untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung dalam katoda LIB bekas. Uji XRD dilakukan di laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBN – BRIN). Hasil bacaan alat disajikan dalam file dengan format *xrdml* dan diinterpretasi menggunakan aplikasi *MATCH!* menjadi data kuantitatif disajikan pada Gambar 4.9. Sampel yang digunakan merupakan katoda yang telah melalui proses kalsinasi. Pada Gambar 4.9 didapatkan bahwa katoda LIB bekas yang telah melalui proses kalsinasi didominasi LIB dengan jenis LiNiO_2 dengan persentase sebesar 78,3%, LiMn_2O_4 sebesar 12,8%, serta terdapat *graphite* sebesar 8,9%.



Gambar 4.9 Hasil interpretasi XRD Katoda LIB Bekas

Uji AAS dilakukan di laboratorium Pengujian PT. Nipress Energi Otomotif. Standar uji yang digunakan pada pengujian AAS sampel katoda LIB bekas adalah SNI 13-6974-2003. Hasil bacaan alat disajikan dalam Tabel 4.2 dengan kode sampel “*Feed NMC – Calcine 1h*”.

Tabel 4.2 Komposisi elemen material katoda LIB bekas setelah kalsinasi

Sampel	Hasil Uji Padatan (%)						
	Ni	Mn	Co	Fe	Mg	Al	Cr
Feed NMC – <i>Calcine 1h</i>	6,1552	9,8257	0,2193	0,0678	0,0327	0,1077	0,0295

4.4. Hasil Uji AAS Filtrat dan Residu *Leaching* HNO₃

Analisis kuantitatif mineral pada leaching asam nitrat (HNO₃) dilakukan menggunakan AAS. Uji AAS dilakukan di laboratorium Pengujian PT. Nipress Energi Otomotif. Standar uji yang digunakan pada pengujian AAS sampel filtrat dan residu leaching HNO₃ adalah SNI 13-6974-2003. Hasil bacaan alat disajikan pada Tabel 4.3 untuk sampel filtrat dan Tabel 4.4 untuk sampel residu. Selanjutnya data diatas akan diolah untuk menentukan parameter leaching optimum asam nitrat.

Tabel 4.3 Komposisi elemen filtrat pada variasi *leaching* HNO₃

Sampel	Hasil Uji Solution (g/l)						
	Ni	Mn	Co	Fe	Mg	Al	Cr
NA 0,25M	0,954	2,100	0,500	0,000	0,053	0,000	0,001
NA 0,5M	3,541	5,087	2,147	0,000	0,109	0,000	0,002
NA 0,75M	4,850	5,790	2,874	0,006	0,108	0,035	0,011
NA 1M	4,458	5,314	2,658	0,005	0,107	0,055	0,003
NA 1,25M	4,498	5,429	2,726	0,005	0,107	0,032	0,009
NA 40°C	5,060	4,106	2,565	0,002	0,001	0,018	0,002
NA 50°C	2,357	4,495	2,845	0,007	0,001	0,033	0,004
NA 60°C	5,055	4,144	2,793	0,006	0,001	0,001	0,004
NA 70°C	5,282	4,209	2,978	0,005	0,001	0,028	0,004
NA 80°C	5,372	4,523	2,794	0,000	0,001	0,026	0,002
NA 1:100	1,954	1,939	1,442	0,002	0,000	0,021	0,001
NA 1,5:100	3,445	3,024	2,205	0,002	0,001	0,024	0,002
NA 2:100	5,241	4,320	2,965	0,005	0,001	0,038	0,005
NA 2,5:100	5,286	4,794	2,775	0,000	0,001	0,026	0,000
NA 3:100	4,760	5,006	2,694	0,000	0,001	0,026	0,000

Tabel 4.4 Komposisi elemen residu pada variasi *leaching* HNO₃

Sampel	Hasil Uji Padatan (%)						
	Ni	Mn	Co	Fe	Mg	Al	Cr
NA 0,25M	22,5228	13,8545	13,1858	0,0519	0,0044	0,0305	0,0201
NA 0,5M	21,2186	7,7944	11,5141	0,1232	0,0074	0,0000	0,094
NA 0,75M	0,2119	0,2048	0,1951	0,0000	0,0025	0,0000	0,0253
NA 1M	0,3067	0,2760	0,2009	0,0000	0,0037	0,0000	0,0212
NA 1,25M	0,2836	0,2829	0,2021	0,0000	0,0034	0,0024	0,0229
NA 40°C	4,5841	1,6997	12,6715	0,4023	0,0207	0,0216	0,0313
NA 50°C	0,2322	0,1507	0,1177	0,0000	0,0039	0,0000	0,0164
NA 60°C	0,3390	0,2622	0,4414	0,0046	0,005	0,0000	0,0283
NA 70°C	0,2892	0,2034	0,9059	0,4985	0,0048	0,0000	0,0213
NA 80°C	10,5898	5,0011	14,3542	0,3022	0,0116	0,0000	0,1228
NA 1:100	0,2569	0,1656	0,1553	0,0000	0,0162	3,4028	0,0042
NA 1,5:100	0,4040	0,3253	0,2745	0,1875	0,0133	2,1552	0,0062
NA 2:100	0,4100	0,4069	0,4767	0,0000	0,007	0,1786	0,0033
NA 2,5:100	18,2711	6,7465	14,4286	0,1434	0,0077	0,2618	0,0967
NA 3:100	20,1504	10,0683	19,0647	0,0773	0,0059	0,1821	0,0632

4.5. Hasil Uji ICP-OES Filtrat *Leaching* CH₃COOH

Analisis kuantitatif mineral pada *leaching* asam asetat glasial (CH₃COOH) dilakukan menggunakan ICP-OES. Uji ICP-OES dilakukan di laboratorium Karakterisasi Lanjut 1 Pusat Riset Metalurgi dan Material - BRIN. Hasil bacaan alat disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Komposisi elemen filtrat pada variasi *leaching* CH₃COOH

SAMPSEL	Hasil Uji Solution (mg/L) ICP-OES							
	Li	Ni	Mn	Co	Fe	Al	Si	Sn
AA 0,25 M	11,7899	28,7115	31,1992	14,5737	0,0032	0,9189	2,1963	0,5655
AA 0,5 M	15,882	44,3378	39,8571	22,5912	0,0168	1,5299	2,0797	0,4953
AA 0,75 M	17,4794	55,0239	46,5177	28,6196	0,0329	1,3888	2,5429	0,5132
AA 1 M	17,6148	57,8779	45,8825	30,0494	0,0254	1,2219	2,5818	0,4495
AA 1,25 M	27,1643	85,1444	79,5207	54,2788	0,2121	1,2484	3,0994	0,6175
AA 40°C	18,4396	58,364	49,0024	30,0307	0,0482	1,1984	2,6507	0,814
AA 50°C	18,4064	57,8755	48,324	30,2521	0,0385	0,8122	2,6635	0,1896
AA 60°C	17,4794	55,0239	46,5177	28,6196	0,0329	1,3888	2,5429	0,5132
AA 70°C	18,3102	55,3698	46,6313	28,4275	0,0143	1,5074	2,2888	0,6019
AA 80°C	19,677	60,2034	50,6235	31,9677	0,0193	2,0417	2,174	0,4832
AA 1:100	12,455	39,961	29,8363	22,8645	0,041	0,9163	1,9705	0,4752
AA 1,5:100	17,529	55,2578	44,4529	29,261	0,0095	1,0519	2,1106	0,1528
AA 2:100	17,4794	55,0239	46,5177	28,6196	0,0329	1,3888	2,5429	0,5132
AA 2,5:100	19,3247	54,4912	52,495	27,2263	0,0171	1,1071	2,6773	0,5711
AA 3:100	22,1847	61,3165	62,4482	31,021	0,0125	0,9711	2,7	0,7073

Selanjutnya data diatas akan diolah untuk menentukan parameter *leaching* optimum asam asetat.

4.6. Hasil Uji ICP-OES Filtrat *Leaching* Optimum HNO₃ dan CH₃COOH

Analisis kuantitatif mineral pada *leaching* kondisi optimum asam nitrat (HNO₃) dan asam asetat glasial (CH₃COOH) dilakukan menggunakan ICP-OES. Uji ICP-OES dilakukan di laboratorium Karakterisasi Lanjut 1 Pusat Riset Metalurgi dan Material - BRIN. Hasil uji filtrat *leaching* optimum yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 menjadi data awal pada perhitungan *molarity adjustment* sehingga didapatkan penambahan sebanyak 0,932239 gram *Co(ii) nitrate hexahydrate* yang setara dengan massa Co²⁺ sebesar 0,20492 gram ditambahkan pada larutan *leaching*

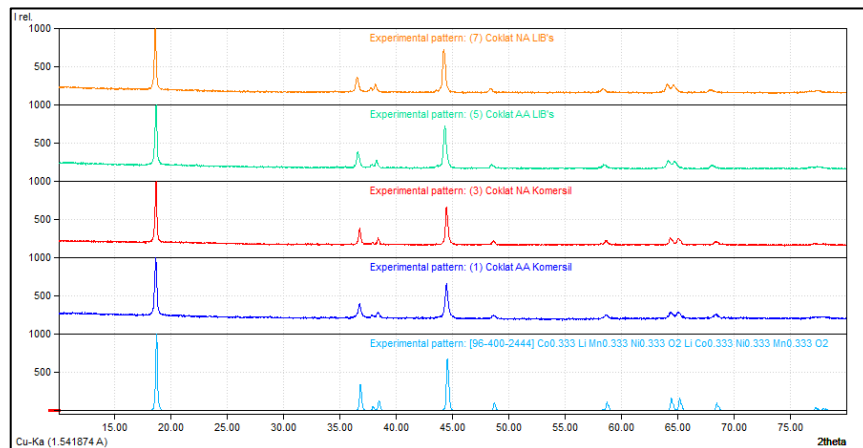
optimum asam nitrat, sedangkan pada larutan *leaching* optimum asam asetat ditambahkan 2,1293054 gram *Co(ii) nitrate hexahidrate* yang setara dengan massa Co^{2+} sebesar 0,08972 gram. Perhitungan *molarity adjustment* selengkapnya tertera pada lampiran.

Tabel 4.6 Komposisi elemen filtrat pada *leaching* optimum

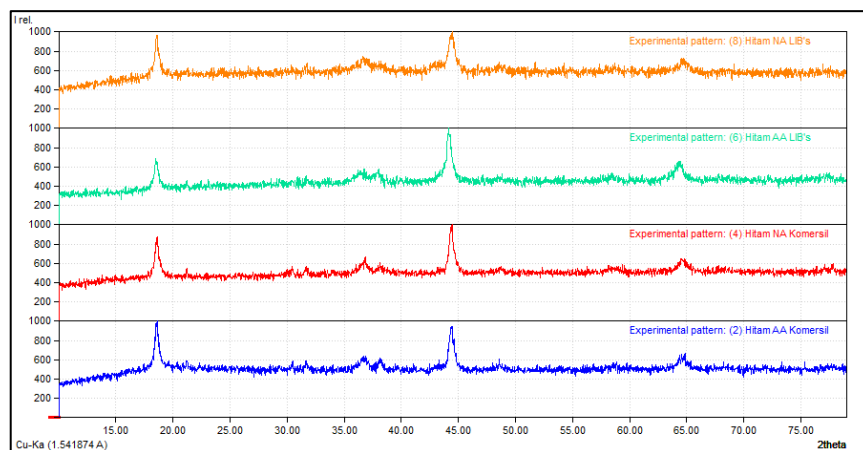
SAMPSEL	Hasil Uji Solution (ppm) ICP-OES					
	Li	Ni	Mn	Co	Fe	Al
NA Optimum	1294,58	4707,52	4116,37	2808,97	2,30	36,84
AA Optimum	1358,22	4257,22	3976,035	2713,94	10,6	62,42

4.7. Hasil Uji XRD Sintesis Katoda Metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*

Uji XRD dilakukan di laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBN – BRIN). Material katoda NMC dikarakterisasi dengan menggunakan X-Ray Difraktometer Merk Rigaku dengan radiasi $Cu K\alpha$ yang beroperasi pada 40 kV dan 30 mA. Data difraksi dikumpulkan setiap 4s step with $0,010^\circ$ dengan data referensi dengan rentang pengukuran pada sudut $10^\circ - 90^\circ$. Hasil bacaan alat disajikan dalam file dengan format xrdml dan diinterpretasi menggunakan aplikasi MATCH! menjadi data kuantitatif disajikan pada Gambar 4.10 untuk sampel warna coklat dan Gambar 4.11 untuk sampel warna hitam. Hasil pengujian dengan sudut 2θ sampel standar dari data COD (*Crystallography Open Database*) pada PDF (Powder Diffraction File) dengan nomor 96-400-2444 yang dapat dilihat pada dasar Gambar 4.10. Puncak-puncak difraksi yang muncul pada XRD memiliki kesamaan dengan COD nomor 96-400-2444 untuk material NMC berwarna coklat. Sedangkan puncak difraksi yang muncul pada XRD material berwarna hitam (Gambar 4.11) cenderung memiliki kesamaan dengan COD nomor 96-400-2444 pula, namun intensitas yang muncul jauh lebih rendah dibandingkan puncak difraksi material NMC berwarna coklat.



Gambar 4.10 Kurva XRD Material NMC Warna Coklat dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor (1) AA Komersil, (3) NA Komersil, (5) AA LIB's, dan (7) NA LIB's dengan Kalsinasi



Gambar 4.11 Kurva XRD Material NMC Warna Hitam dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor (2) AA Komersil, (4) NA Komersil, (6) AA LIB's, dan (8) NA LIB's tanpa Kalsinasi

4.8. Hasil Uji PSA Sintesis Katoda Metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*

Analisis kuantitatif katoda hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* dilakukan menggunakan PSA untuk mengetahui distribusi ukuran katoda. Uji TGA dilakukan di laboratorium Analisis Kimia 2 Pusat Teknologi Material - BRIN (Gedung 224). Hasil bacaan alat kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan dirangkum dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Hasil

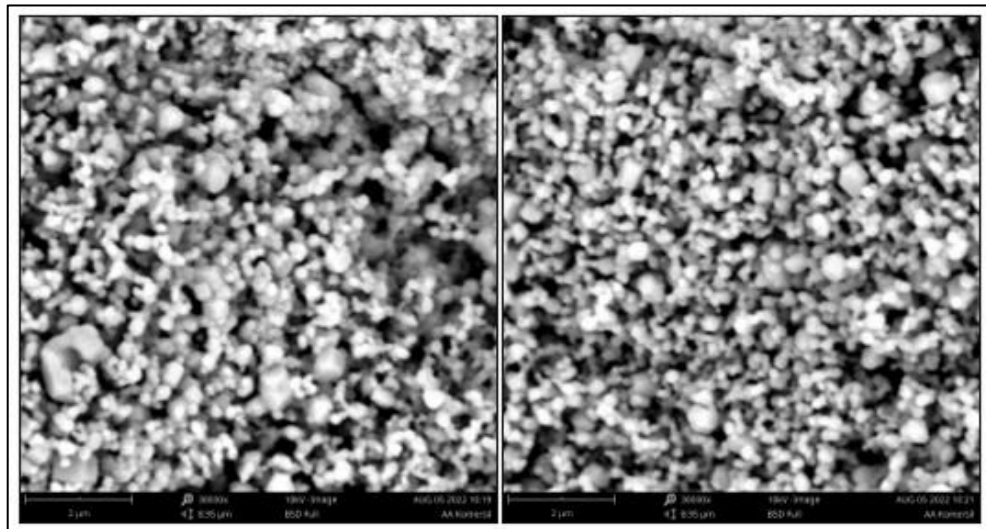
pada Tabel 4.7 merupakan hasil rata-rata dari data *triplo* yang akan dijabarkan lebih rinci pada sub bab 5.3.

Tabel 4.7 Rata-rata ukuran partikel material katoda NMC hasil FASP

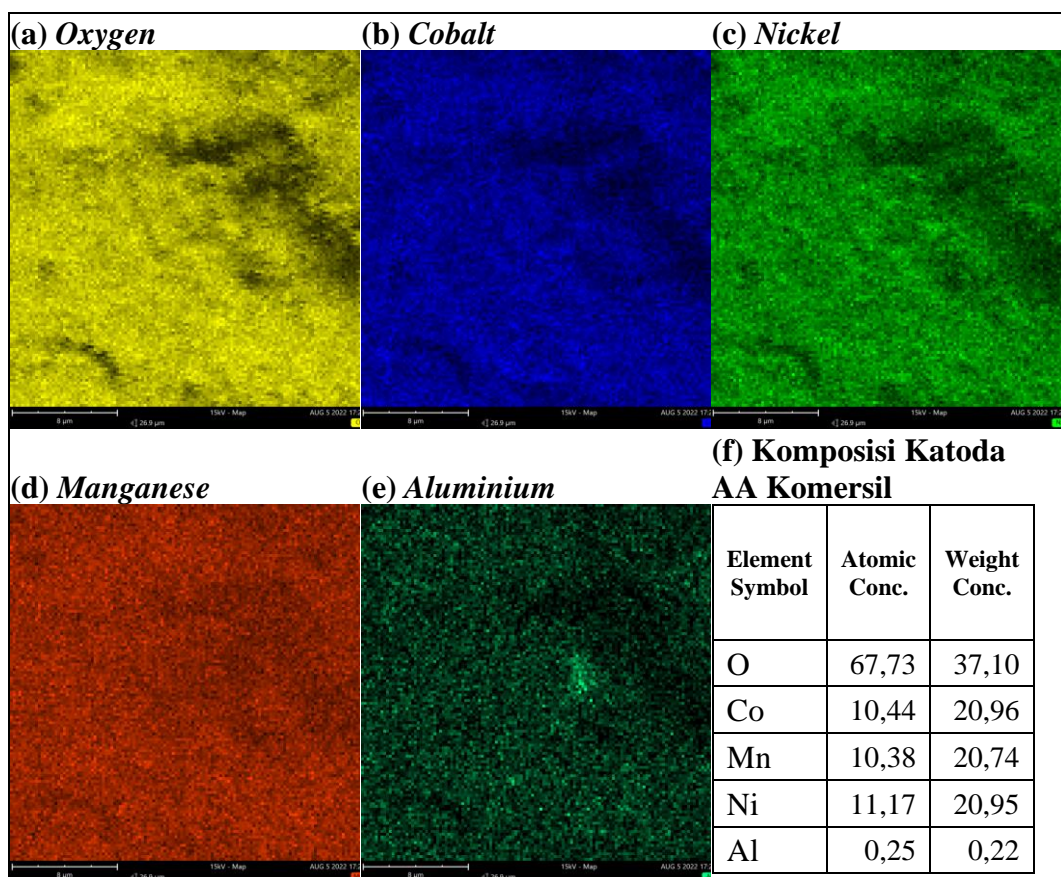
Hasil Uji Distribusi Ukuran dengan PSA	
Sampel	Mean Diameter (nm)
(1) Coklat AA Komersil	533,4227253
(2) Hitam AA Komersil	309,5635786
(3) Coklat NA Komersil	383,1634781
(4) Hitam NA Komersil	253,5753557
(5) Coklat AA LIB's	546,2127611
(6) Hitam AA LIB's	357,6838553
(7) Coklat NA LIB's	292,2046278
(8) Hitam NA LIB's	313,8842540

4.9. Hasil Uji SEM-EDX Sintesis Katoda Metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*

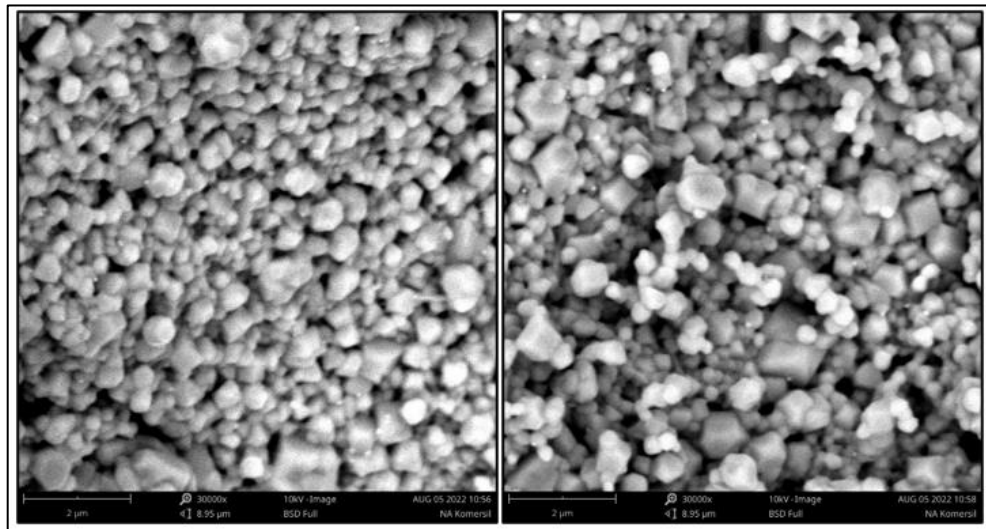
Analisis morfologi struktur katoda NMC hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* dilakukan menggunakan SEM–EDX. Uji SEM-EDX dilakukan Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Mineral (PTPSM) – BRIN (Gedung Geotech). Karakterisasi dilakukan pada perbesaran 30.000x untuk analisis morfologi struktur dengan SEM dan perbesaran 10.000x untuk analisis elemental kimia material katoda dengan EDX. Sampel yang digunakan merupakan katoda NMC hasil sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* berwarna coklat yang telah melalui proses kalsinasi pada suhu 800°C selama 6 jam. Katoda NMC hasil sintesis memiliki partikel berukuran nano dengan diameter terbesar sekitar 500 nm dan partikel bentuk bola banyak terlihat pada sampel dengan larutan prekursor AA, sedangkan partikel dengan bentuk menyerupai piramid terlihat pada sampel dengan larutan prekursor NA. Gambar *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX) menunjukkan distribusi unsur Ni, Co, Mn, dan O yang seragam. Unsur Al terlihat pada setiap sampel namun kuantitasnya sangat rendah dalam material katoda NMC hasil sintesis. Umumnya, ukuran partikel nano dan distribusi unsur yang seragam merupakan faktor kunci untuk kinerja elektrokimia yang sangat baik (Zheng dkk., 2019)



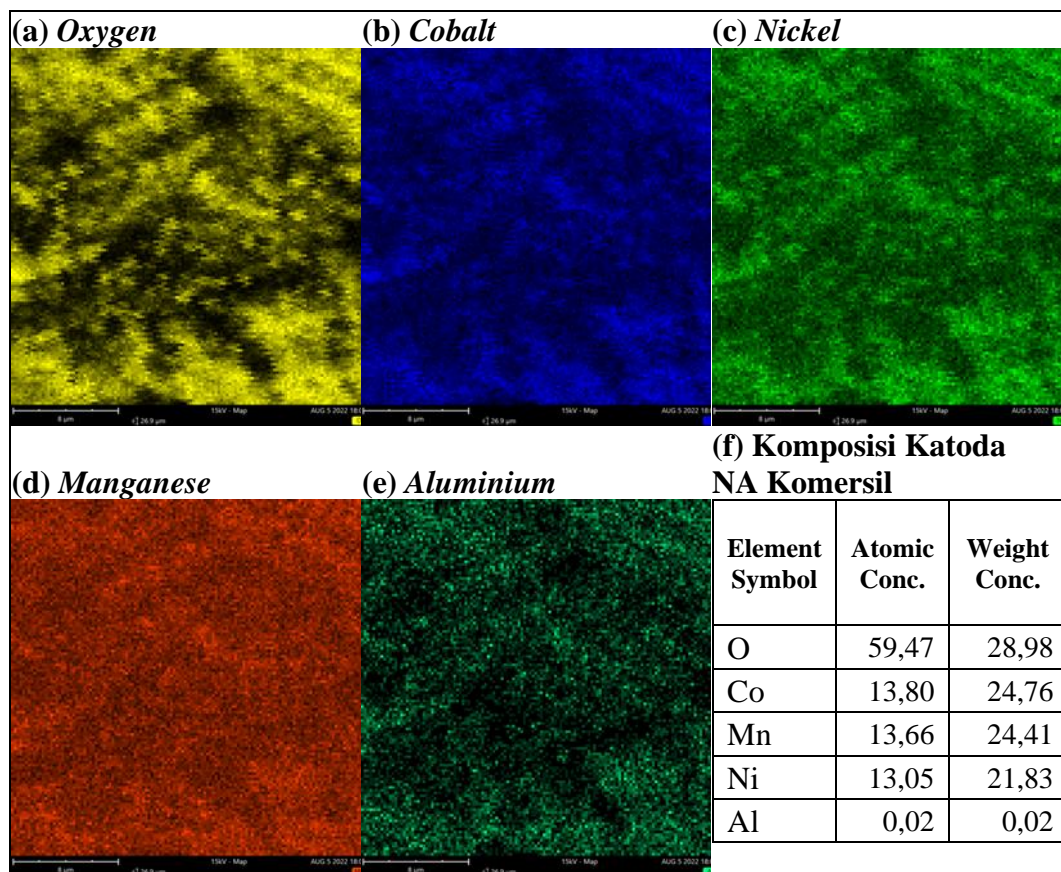
Gambar 4.12 Hasil Uji SEM sampel (2) AA Komersil



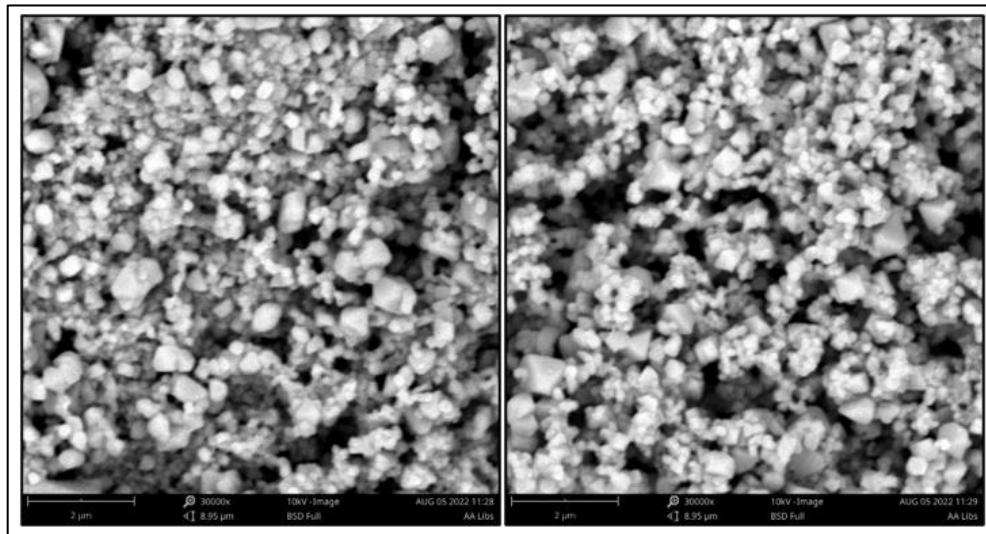
Gambar 4.13 Hasil Uji EDX elemen sampel (2) AA Komersial



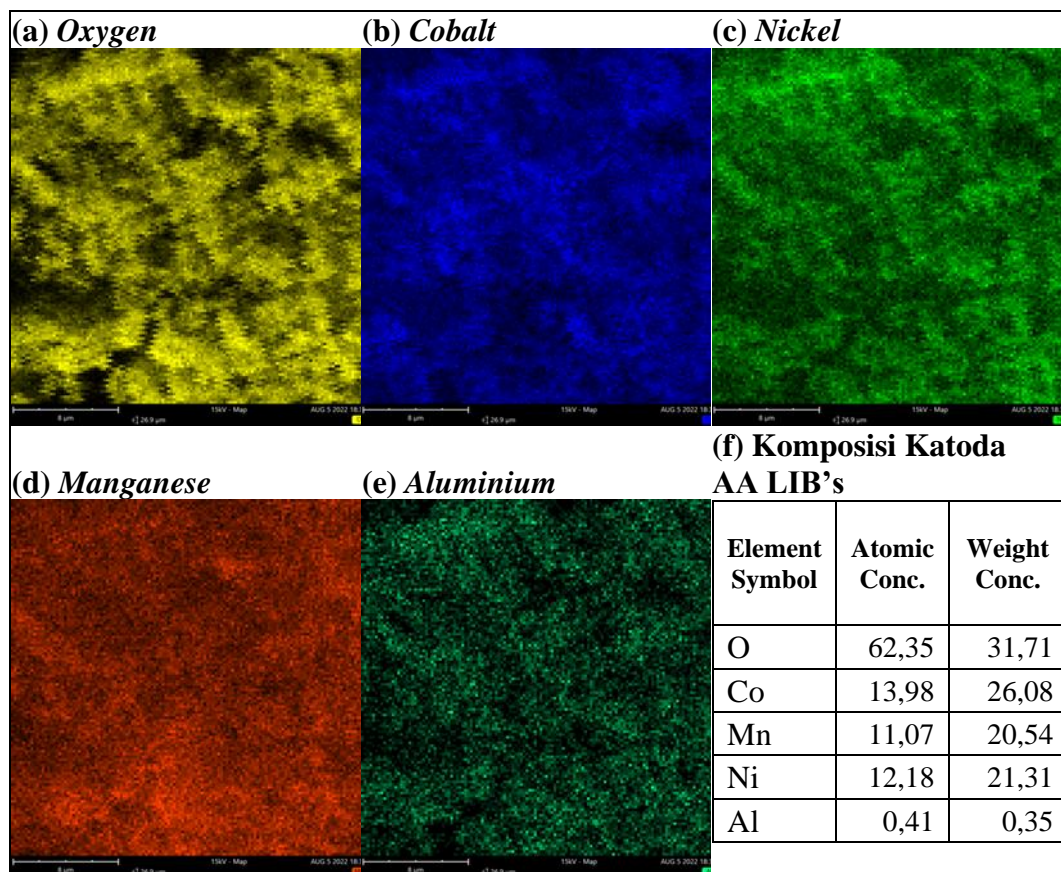
Gambar 4.14 Hasil Uji SEM sampel (4) NA Komersil



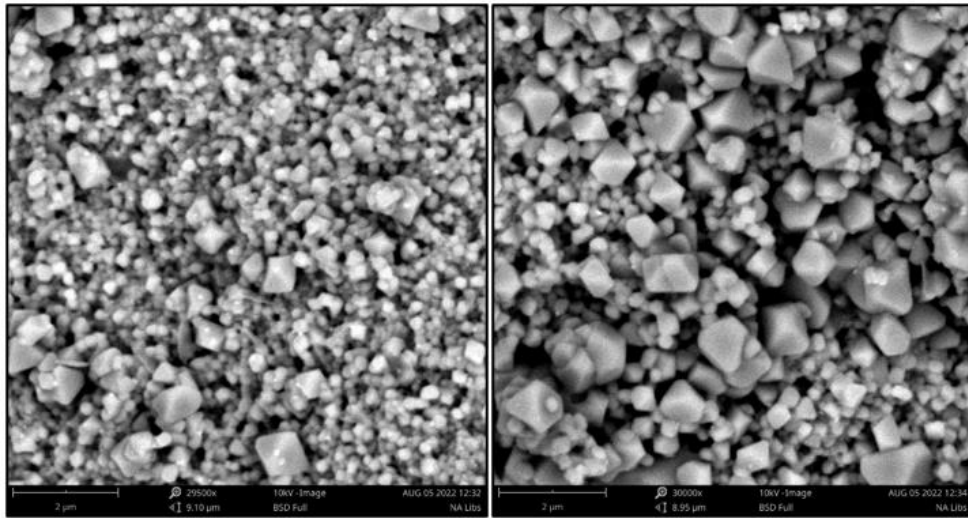
Gambar 4.15 Hasil Uji EDX elemen sampel (4) NA Komersial



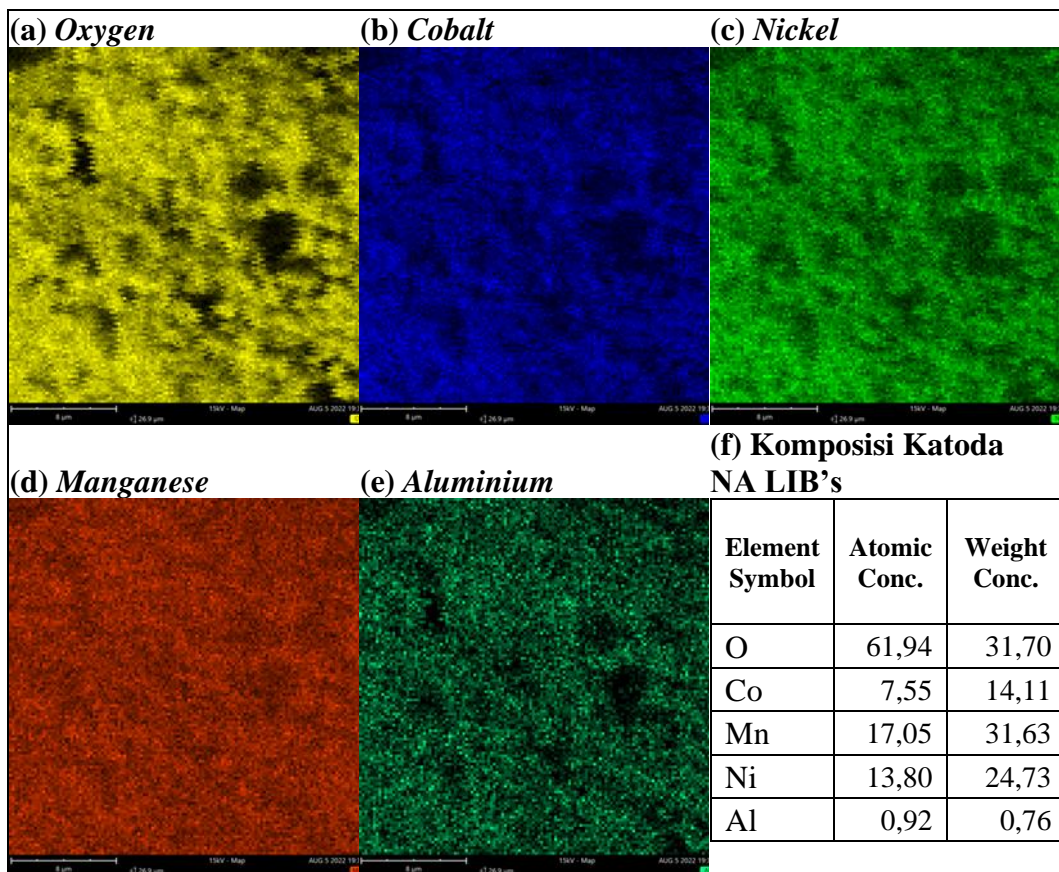
Gambar 4. 16 Hasil Uji SEM sampel (6) AA LIB's



Gambar 4.17 Hasil Uji EDX elemen sampel (6) AA LIB's



Gambar 4.18 Hasil Uji SEM sampel (8) NA LIB's



Gambar 4.19 Hasil Uji EDX elemen sampel (8) NA LIB's

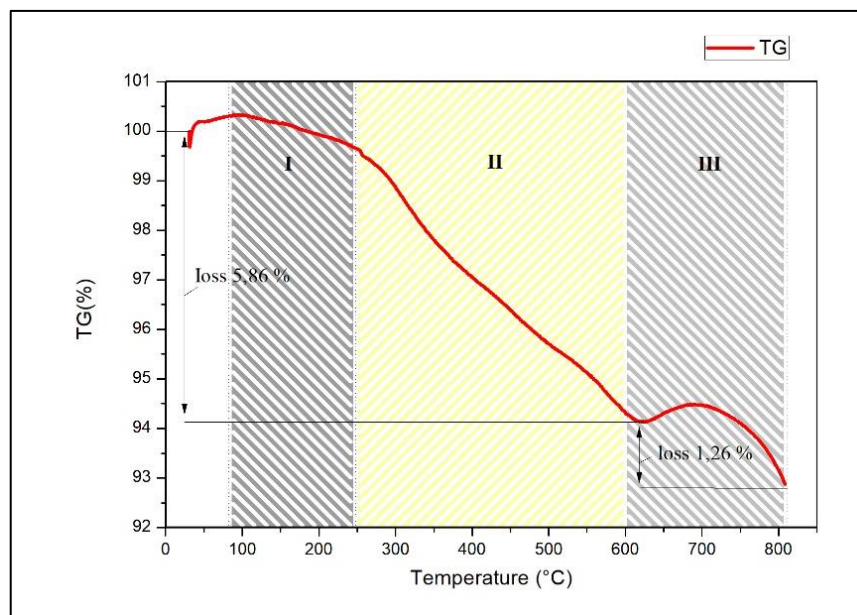
BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Proses *Pre-treatment* Baterai NMC Bekas

5.1.1. Karakterisasi Katoda LIB Bekas dengan TGA

Tujuan utama dari *pretreatment* pada material aktif katoda adalah untuk meningkatkan efisiensi *leaching* dengan menghilangkan atau menguraikan karbon dan *binder* (pengikat) dan dengan mengoksidasi atau mereduksi bahan aktif menjadi bentuk yang lebih larut (Chen dkk., 2018). Untuk membuat proses penghilangan *binder* dengan *heat treatment* (dalam penelitian ini kalsinasi) dari katoda NMC, diperlukan informasi tentang suhu dekomposisi, dan produk sampingan berupa gas dari dekomposisi (Ross dkk., 2020).



Gambar 5.1 Kurva TG Material Katoda LIB Bekas

Pretreatment dari material aktif katoda dievaluasi menggunakan analisis *Thermogravimetric Analysis* (TGA) untuk mengetahui suhu optimum yang akan menyebabkan dekomposisi *binder* selama *pretreatment* NMC. Kurva TG menunjukkan penurunan berat sekitar 7,12% dengan peningkatan suhu dari

suhu kamar (31°C) hingga 800°C. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1, pada bagian I air yang teradsorpsi akan hilang pada suhu di bawah 200°C (Ross dkk., 2020).

Pada Gambar 5.1 bagian II menunjukkan *binder* (PVDF) mulai terurai pada suhu 300°C dan dekomposisi berlanjut hingga 627°C, Produk dekomposisi PVDF meliputi: CO₂, H₂O, dan HF (Chen dkk., 2018). Gas yang terbentuk (C_xH_y, CO₂, dan H₂O) menunjukkan disosiasi atau dekomposisi senyawa organik, yang bisa menjadi pengikat dan/atau pelarut residu (Babanejad dkk., 2022). Dengan dekomposisi PVDF, *acetylene black* (karbon) mungkin teroksidasi/terurai dengan puncak dekomposisi sekitar 500°C (Hanisch dkk., 2015; Ross dkk., 2020). Pada Gambar 5.1 bagian III Pada rentang suhu 600 - 800°C kurva TG mengindikasikan penurunan massa sebesar 1,26% yang menunjukkan penguraian Li₂CO₃ menjadi Li₂O dan CO₂ dan terbentuk fasa Co/Ni setelah reduksi (Babanejad dkk., 2022).

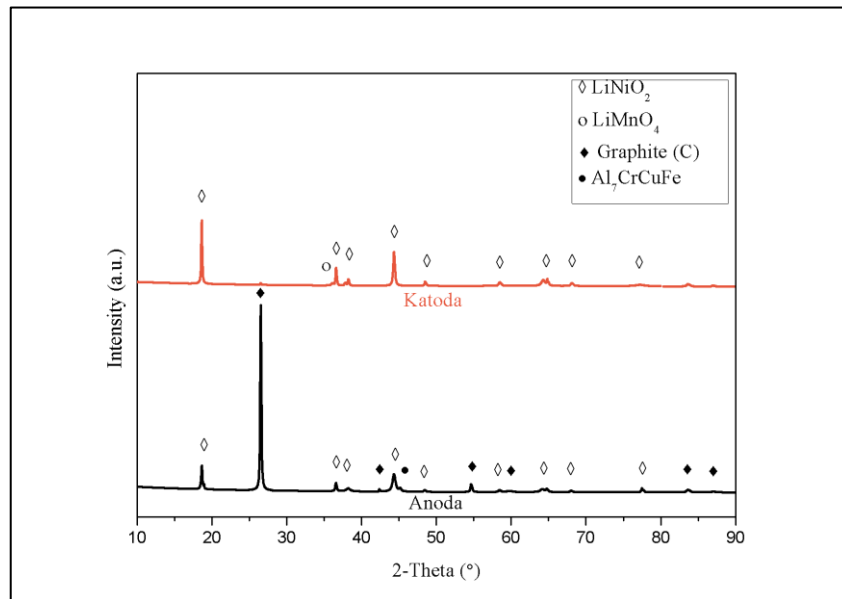
5.1.2. Komposisi Katoda LIB Bekas

Tabel 5.1 Komposisi Elemen Material Katoda LIB Bekas

Sampel	Hasil Uji Padatan (%)						
	Ni	Mn	Co	Fe	Mg	Al	Cr
Feed NMC	6,1552	9,8257	0,2193	0,0678	0,0327	0,1077	0,0295

Material aktif katoda yang telah melalui proses *pre-treatment* dikarakterisasi dengan *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil karakterisasi dengan AAS pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa katoda memiliki rasio Ni:Mn:Co yakni 0,6:0,37:0,02, rasio ini berbeda dengan komposisi baterai NMC pada umumnya yang memiliki perbandingan 0,33:0,33:0,33 untuk NMC 111, 0,5:0,3:0,2 untuk NMC 532, dan 0,8:0,1:0,1 untuk NMC 811. Perbedaan rasio ini disebabkan tidak terambilnya seluruh material aktif katoda LIB bekas pada saat proses pembongkaran dan beberapa jenis baterai LMO yang tidak tersortir dengan baik dan ikut

terbongkar bersama baterai NMC yang akan didaur ulang. Jumlah logam *cobalt* yang terlalu sedikit apabila dibandingkan dengan logam *nickel* dan *manganese* dapat disebabkan lebih banyak LIB jenis NMC dan LMO yang didaur ulang sehingga jumlah logam *nickel* dan *manganese* lebih banyak. Hal ini selaras dengan hasil karakterisasi material aktif katoda dengan XRD.

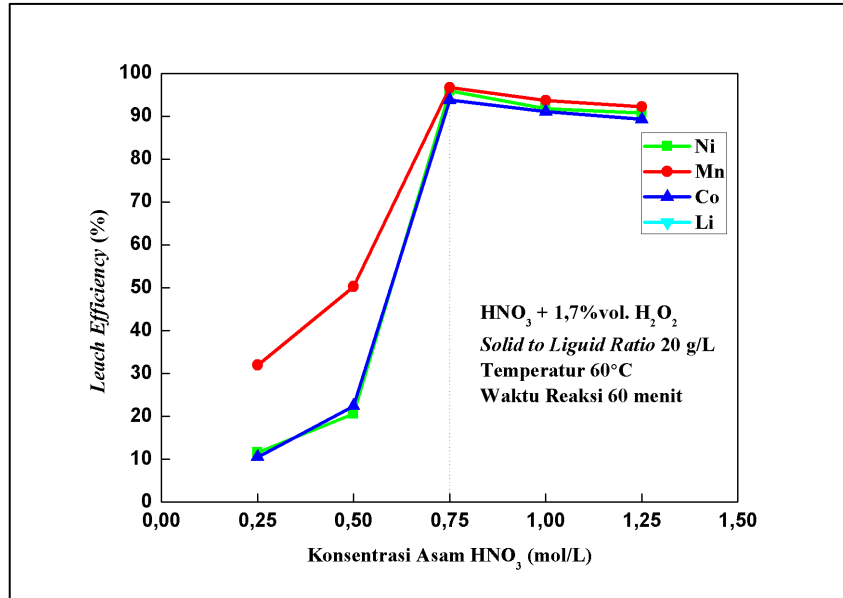


Gambar 5.2 Pola XRD Katoda dan Anoda LIB Bekas setelah Kalsinasi

Hasil karakterisasi material aktif katoda dengan XRD pada Gambar 5.2 menunjukkan identifikasi fasa mayor LiNiO_2 serta LiMnO_4 pada fasa minor dengan aplikasi Match! 3 dan diplot menggunakan aplikasi OriginPro 8. Hal ini menunjukkan bahwa proses *pre-treatment* yang dilakukan pada penelitian ini terbukti efektif, ditandai dengan *aluminium* dan *graphite* yang memiliki jumlah kuantitas yang kecil ditandai dengan intensitas *peak* yang lemah pada karakterisasi XRD dan diperkuat dengan data AAS dimana *aluminium* teridentifikasi dalam jumlah yang kecil dibandingkan dengan logam lain.

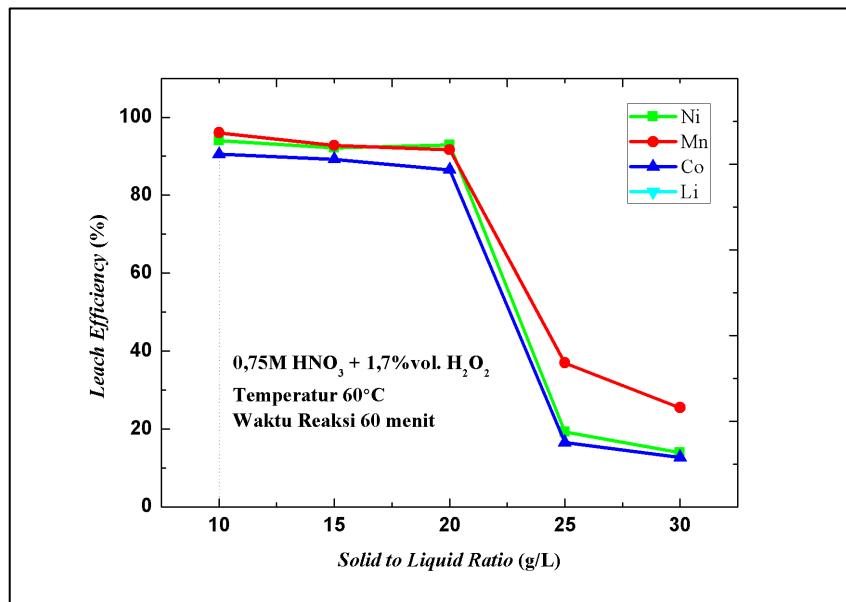
5.2. Leaching Selektif Ion Logam

5.2.1. Leaching Anorganik



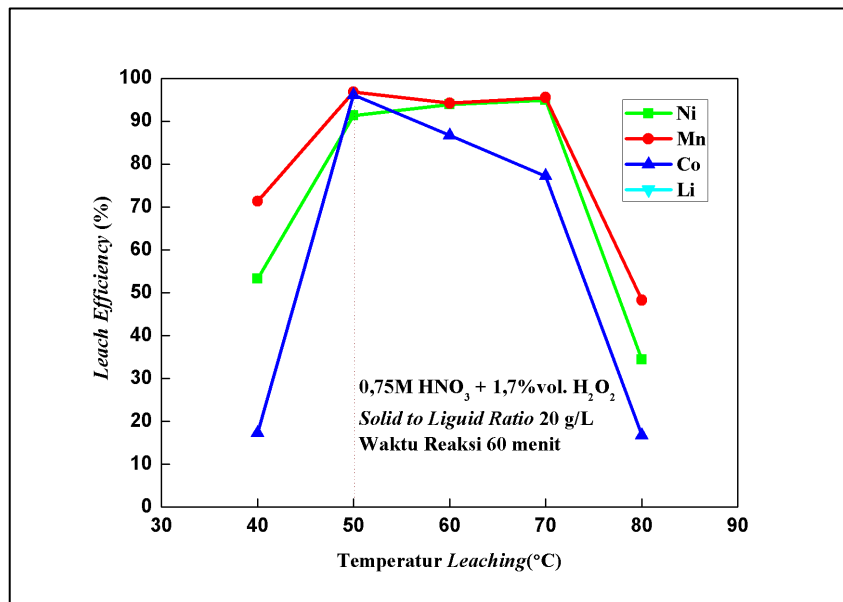
Gambar 5.3 Efisiensi *Leaching* HNO₃ Li, Ni, Mn, dan Co pada Konsentrasi Asam Nitrat yang berbeda

Percobaan dengan variasi konsentrasi asam nitrat terhadap efisiensi Li, Ni, Co, dan Mn untuk mengetahui kondisi optimum *leaching*. Percobaan dilakukan dengan rasio S/L 20 gram/Liter, penambahan H₂O₂ 1,7 % volume, waktu reaksi 60 menit dan suhu *leaching* 60 °C. Konsentrasi asam nitrat bervariasi mulai 0,25 mol/L hingga 1,25 mol/L. Pada Gambar 5.3 dapat terlihat bahwa ketika konsentrasi asam meningkat dari 0,25 mol/L hingga 0,75 mol/L terdapat kenaikan efisiensi *leaching* yang signifikan hingga 95,94% pada logam *nickel*, 96,96% pada logam *manganese*, dan 93,83% pada logam *cobalt*. Pada konsentrasi 1 mol/L dan 1,25 mol/L efisiensi *leaching* lebih rendah daripada konsentrasi 0,75 mol/L. Oleh karena itu 0,75 mol/L dipilih sebagai konsentrasi *leaching* optimum dalam penelitian berikut.



Gambar 5.4 Efisiensi *Leaching* HNO₃ Li, Ni, Mn, dan Co pada *Solid to Liquid Ratio* yang berbeda

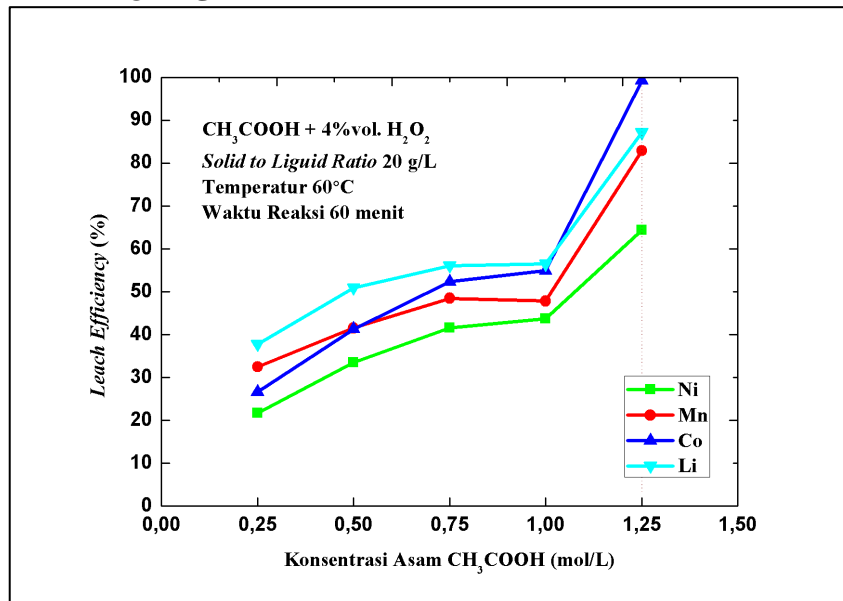
Percobaan dengan variasi *solid to liquid ratio* (S/L) terhadap efisiensi Li, Ni, Co, dan Mn dilakukan dengan konsentrasi asam nitrat 0,75 mol/L, penambahan H₂O₂ 1,7 % volume, waktu reaksi 60 menit dan suhu *leaching* 60 °C. *Solid to liquid ratio* (S/L) bervariasi mulai 10 gram/Liter hingga 30 gram/Liter. Pada Gambar 5.4 dapat terlihat bahwa semakin besar *solid to liquid ratio* (S/L) dapat menurunkan efisiensi *leaching* hingga 13,98% untuk logam *nickel*, 25,49% untuk logam *manganese*, dan 12,73% untuk logam *cobalt*. Efisiensi *leaching* tertinggi justru ditunjukkan pada percobaan dengan *solid to liquid ratio* (S/L) 10 gram/L yang mencapai 94,01%; 96,03%; dan 90,55% untuk logam *nickel*, *manganese*, *cobalt* secara berurutan. Oleh karena itu *solid to liquid ratio* (S/L) pada 10 gram/Liter dipilih sebagai parameter *leaching* yang optimum.



Gambar 5.5 Efisiensi *Leaching* HNO₃ Li, Ni, Mn, dan Co pada Temperatur yang berbeda

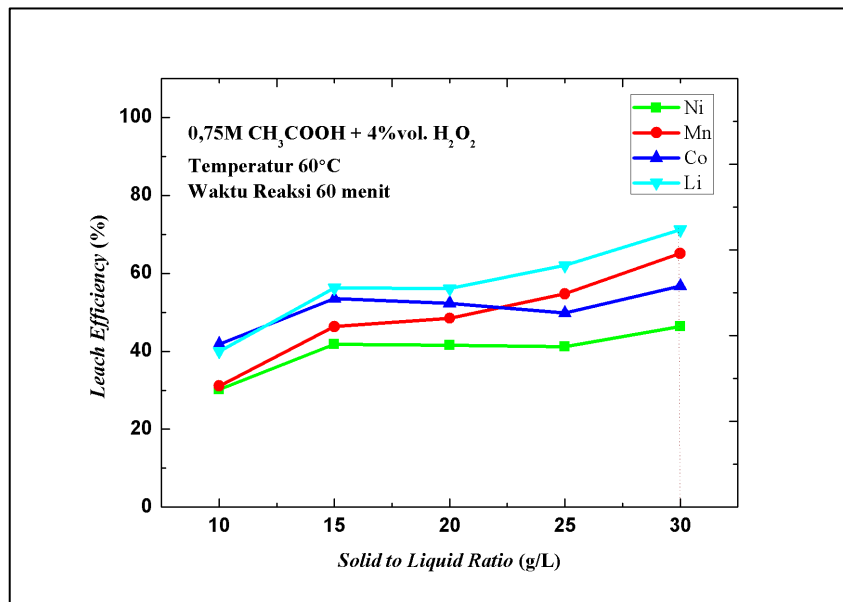
Percobaan dengan variasi temperatur *leaching* terhadap efisiensi Li, Ni, Co, dan Mn dilakukan dengan konsentrasi asam nitrat 0,75 mol/L, *solid to liquid ratio* (S/L) 20 gram/Liter, penambahan H₂O₂ 1,7 % volume, dan waktu reaksi 60 menit. Temperatur *leaching* bervariasi mulai 40°C hingga 80°C. Grafik efisiensi *leaching* yang ditunjukkan pada Gambar 5.5 cenderung mengalami perubahan yang fluktuatif dimana efisiensi *leaching* turun pada suhu 60°C dan kembali naik pada suhu 70°C. Namun apabila dicermati lebih seksama, pada suhu 70°C efisiensi *leaching* pada logam Co mengalami penurunan apabila dibandingkan logam Ni dan Mn. Karena pertimbangan inilah dipilih temperatur 50°C sebagai parameter *leaching* yang optimum.

5.2.2. Leaching Organik



Gambar 5.6 Efisiensi *Leaching* CH₃COOH Li, Ni, Mn, dan Co pada Konsentrasi Asam Asetat yang berbeda

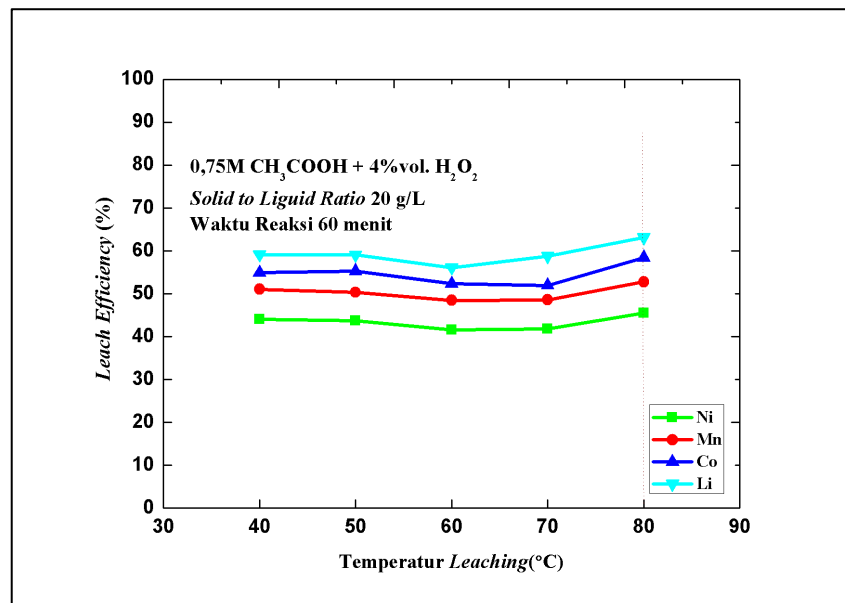
Percobaan dengan variasi konsentrasi asam asetat terhadap efisiensi Li, Ni, Co, dan Mn dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum *leaching*. Percobaan dilakukan dengan rasio S/L 20 gram/Liter, penambahan H₂O₂ 4 % volume, waktu reaksi 60 menit dan suhu *leaching* 60 °C. Konsentrasi asam asetat bervariasi mulai 0,25 mol/L hingga 1,25 mol/L. Pada Gambar 5.6 dapat terlihat bahwa ketika konsentrasi asam meningkat dari 0,25 mol/L hingga 1,25 mol/L terdapat kenaikan efisiensi *leaching* yang signifikan hingga 87,16% pada logam *lithium*, 64,34% pada logam *nickel*, 82,89% pada logam *manganese*, dan 99,24% pada logam *cobalt*. Hal ini sesuai dengan teori yakni dengan meningkatkannya konsentrasi asam akan meningkatkan pula efisiensi proses *leaching*. Namun secara keseluruhan grafik menunjukkan peningkatan hingga variabel konsentrasi tertinggi yakni 1,25 mol/L dan diperkirakan akan terus meningkat dan akan mencapai puncak di konsentrasi 6 mol/L (Zheng dkk., 2019). Oleh karena itu 1,25 mol/L dipilih sebagai konsentrasi *leaching* optimum dalam penelitian berikut.



Gambar 5.7 Efisiensi *Leaching* CH₃COOH Li, Ni, Mn, dan Co pada *Solid to Liquid Ratio* yang berbeda

Percobaan dengan variasi *solid to liquid ratio* (S/L) terhadap efisiensi Li, Ni, Co, dan Mn dilakukan dengan konsentrasi asam asetat 0,75 mol/L, penambahan H₂O₂ 4 % volume, waktu reaksi 60 menit dan suhu *leaching* 60 °C. *Solid to liquid ratio* (S/L) bervariasi mulai 10 gram/Liter hingga 30 gram/Liter. Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa terdapat peningkatan efisiensi *leaching* namun tidak terlalu signifikan pada percobaan dengan variasi *solid to liquid ratio* (S/L). Peningkatan tertinggi terlihat pada logam Mn sebesar 33,99% pada rentang *solid to liquid ratio* (S/L) 10 g/L hingga 30 g/L, diikuti dengan logam Li sebesar 31,22%, logam Ni sebesar 16,14%, dan terakhir logam Co sebesar 14,91%. Peningkatan yang cenderung landai ini diakibatkan oleh tidak maksimalnya kinerja asam asetat yakni pada konsentrasi 0,75 mol/L bukan merupakan konsentrasi dengan efisiensi *leaching* maksimum seperti yang sudah dijelaskan paragraf sebelumnya. Hal ini terjadi karena percobaan dilakukan secara paralel sehingga data yang dihasilkan kurang maksimal. Efisiensi *leaching* tertinggi ditunjukkan pada percobaan dengan *solid to liquid ratio* (S/L) 30 gram/L yang mencapai 71,18%; 46,34%; 65,09%; dan 56,72% untuk logam *lithium, nickel,*

manganese, cobalt secara berurutan. Oleh karena itu *solid to liquid ratio* (S/L) pada 30 gram/Liter dipilih sebagai parameter *leaching* yang optimum.



Gambar 5.8 Efisiensi *leaching* CH₃COOH Li, Ni, Mn, dan Co pada Temperatur yang berbeda

Percobaan dengan variasi temperatur *leaching* terhadap efisiensi Li, Ni, Co, dan Mn dilakukan dengan konsentrasi asam asetat 0,75 mol/L, *solid to liquid ratio* (S/L) 20 gram/Liter, penambahan H₂O₂ 4 % volume, dan waktu reaksi 60 menit. Temperatur *leaching* bervariasi mulai 40°C hingga 80°C. Grafik efisiensi *leaching* yang ditunjukkan pada Gambar 5.8 cenderung landai, tidak terlalu banyak peningkatan yang signifikan. Sama seperti pada variasi *solid to liquid ratio* (S/L), pada grafik variasi temperatur *leaching* yang cenderung landai ini diakibatkan oleh tidak maksimalnya kinerja asam asetat yakni pada konsentrasi 0,75 mol/L bukan merupakan konsentrasi dengan efisiensi *leaching* maksimum. Efisiensi *leaching* tertinggi ditunjukkan pada percobaan dengan temperatur 80°C yang mencapai 63,13%; 45,50%; 52,27%; dan 58,45% untuk logam *lithium, nickel, manganese, cobalt* secara berurutan. Pada penelitian terdahulu disebutkan bahwa *leaching* dengan *reducing agent* H₂O₂ tidak disarankan pada temperatur tinggi (>70°C) untuk menghindari

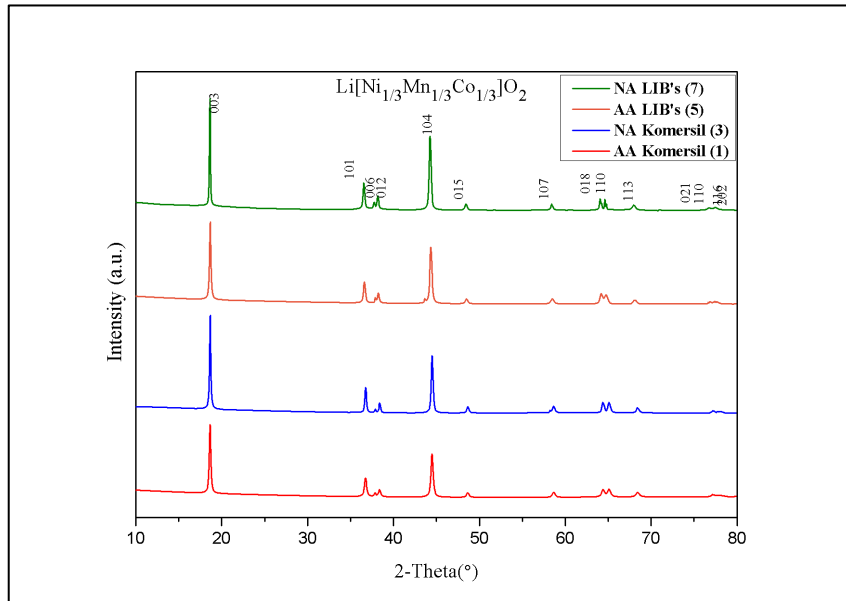
dekomposisi H_2O_2 (Zheng dkk., 2019; Solorio, 2021). Karena pertimbangan inilah dipilih temperatur 70°C sebagai parameter *leaching* yang optimum.

5.3. Regenerasi Baterai *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide* (NMC)

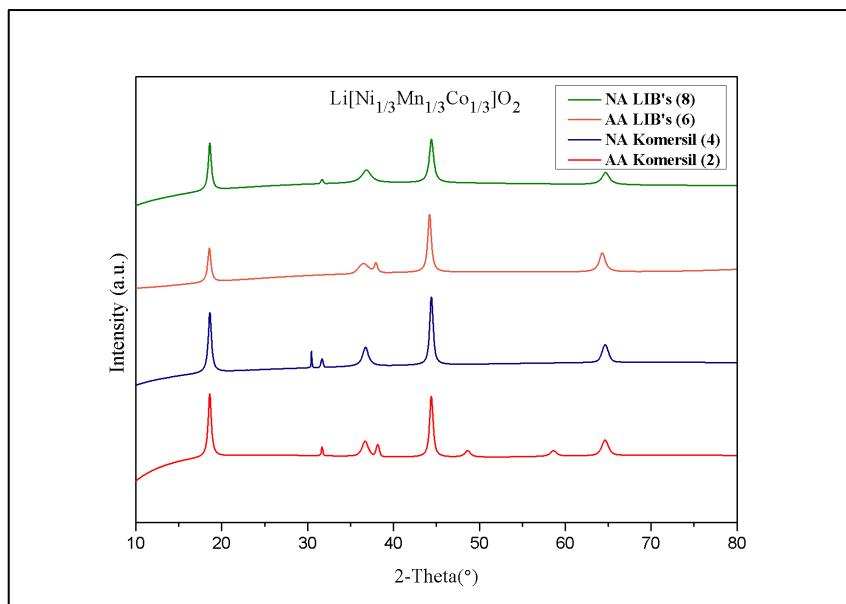
5.3.1. Karakterisasi Katoda dengan XRD

Pola XRD sintesis katoda $\text{Li}(\text{Ni}_{0,3}\text{Mn}_{0,3}\text{Co}_{0,3})\text{O}_2$ metode FASP dengan variasi jenis larutan prekursor ditunjukkan pada Gambar 5.9 untuk katoda dengan kalsinasi dan Gambar 5.10 untuk katoda tanpa kalsinasi. Pada Gambar 5.10 sampel tanpa kalsinasi menunjukkan tingkat kristalisasi yang rendah, yang ditunjukkan dengan pola XRD dengan intensitas puncak yang lemah dan rentang yang lebar. Saat sampel dikalsinasi (Gambar 5.9) pada suhu 800°C selama 6 jam puncak difraksi seperti (003), (006)/(012), dan (018)/(110) muncul. Keempat sampel menampilkan puncak lebar yang identik dengan puncak milik baterai jenis NMC (Zhang dkk., 2020; Madero dkk., 2021). Puncak difraksi sesuai dengan kartu data COD untuk NMC 111 tipe $\alpha\text{-NaFeO}_2$ heksagonal yang mendefinisikan struktur berlapis oksida, terutama puncak difraksi (018)/(110) terletak sekitar 65° merupakan indikasi dari karakter lapisan sampel logam dengan $R\bar{3}m$ *space group* dan tidak ada puncak dari fase kristal lainnya (tipe spinel M_3O_4 atau tipe *rock-salt* MO) yang terlihat (Ajayi dkk., 2017; Abram dkk., 2019).

Pada Gambar 5.9 tidak terlalu banyak perbedaan signifikan yang dapat dianalisis pada pola XRD katoda NMC dengan variasi jenis larutan prekursor. Namun nampak dengan jelas bahwa larutan prekursor nitrat baik NA Komersil maupun NA LIB's memiliki intensitas puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan larutan prekursor asetat. Oleh karena itu, larutan prekursor nitrat memiliki kemampuan kristalisasi yang lebih baik dibandingkan larutan prekursor asetat pada kalsinasi 800°C dengan waktu penahanan selama 6 jam.



Gambar 5.9 Perbandingan Hasil Karakterisasi XRD pada Katoda NMC FASP dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor dengan Kalsinasi



Gambar 5.10 Perbandingan Hasil Karakterisasi XRD pada Katoda NMC FASP dengan Variasi Jenis Larutan Prekursor tanpa Kalsinasi

Tabel 5.2 *Refined lattice parameters* Katoda NMC FASP

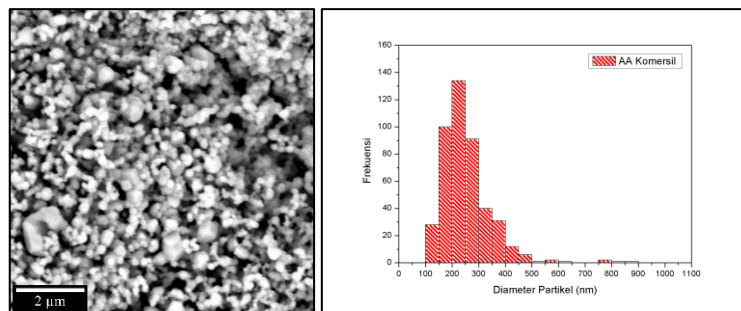
Parameter Kisi (<i>Lattice Parameters</i>) Katoda NMC FASP									
Sampel	a (Å)	c (Å)	c/a	V (Å ³)	R _{exp}	R _{profile}	R _{wp}	GoF	I _{[003]/} I _[104]
(1)	2,8613	14,2288	4,9728	100,8894	2,1687	2,5316	3,1595	2,1225	1,54
(2)	2,8654	14,1912	4,9526	100,9073	4,8529	3,68	4,6817	0,9306	1,10
(3)	2,8617	14,2348	4,9742	100,9563	2,1169	2,7991	3,7229	3,0926	1,44
(4)	2,8659	14,2150	4,9600	101,1177	4,6006	3,4087	4,3537	0,8955	1,06
(5)	2,8767	14,2702	4,9606	102,2743	2,6832	2,3255	3,1216	1,8939	1,26
(6)	2,8819	14,2377	4,9403	102,4113	5,6412	4,5895	5,8274	1,0670	0,89
(7)	2,8790	14,2779	4,9593	102,4917	2,3133	2,4466	3,2756	2,0050	1,51
(8)	2,8643	14,2172	4,9635	101,0142	4,8601	3,6490	4,6574	0,9183	1,18

Parameter struktur yang disempurnakan untuk 8 sampel katoda hasil FASP diringkas dalam Tabel 5.2. Kuantitas fase serta nilai parameter kisi a, c dan posisi oksigen ditentukan dengan penyempurnaan *Rietveld*. Kinerja elektrokimia yang lebih baik umumnya dikaitkan dengan parameter kisi c yang lebih besar untuk struktur berlapis. Atom Ni dapat menempati lapisan Li karena jari-jari atom Li⁺ dan Ni²⁺ yang serupa, yang mengarah pada permulaan pembentukan fase yang tidak teratur, yang menyebabkan berkurangnya intensitas puncak difraksi 003 milik struktur berlapis (atau bahkan hilangnya 003 secara total). puncak untuk pembentukan fase tipe MO, misalnya, NiO). Dengan cara ini rasio I_{[003]/I_[104]} dapat berfungsi sebagai indikator kualitatif untuk pertukaran ion dalam oksida struktur berlapis (Li dkk., 2016). Rasio intensitas tinggi I_{[003]/I_[104]} ditunjukkan oleh sampel (1), (3), (5), dan (7) menunjukkan sangat rendahnya atau hampir tidak ada pencampuran kation dalam struktur Li(Ni_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3})O₂ (Lengyel, Elhassid, dkk., 2014; Zhang dkk., 2020). Kalsinasi pada katoda FASP memberikan pengaruh dimana pada sampel (2), (4), (6), dan (8) memiliki rasio I_{[003]/I_[104]} dibawah 1,2 mengindikasikan adanya pencampuran kation dimana kalsinasi pada katoda FASP. Pada akhirnya tidak ada perubahan atau korelasi antara jenis larutan prekursor dan parameter kisi, lebih lanjut menunjukkan bahwa jenis larutan

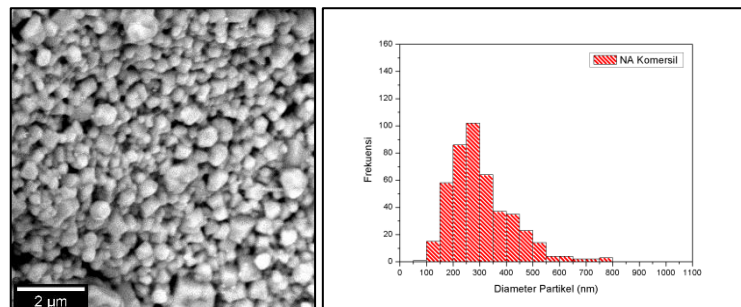
prekursor memiliki dampak yang dapat diabaikan pada kristalinitas terlepas dari kandungan *nickel* dan efeknya terlokalisasi pada permukaan partikel NMC.

5.3.2. Karakterisasi Morfologi Katoda dengan SEM-EDX

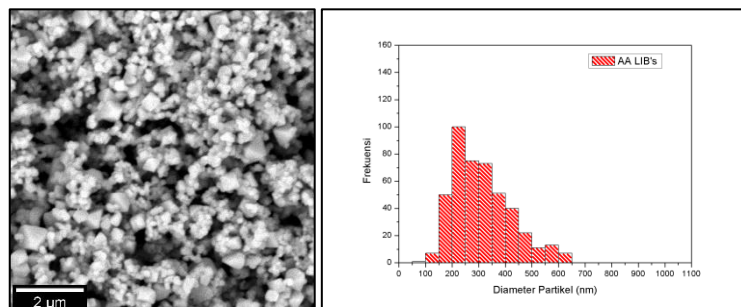
Morfologi dari sampel (1), (3), (5), dan (7) hasil FASP dikarakterisasi dengan SEM setelah dikalsinasi selama 6 jam pada suhu 800°C, secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 5.11, Gambar 5.12, Gambar 5.13, dan Gambar 5.14.



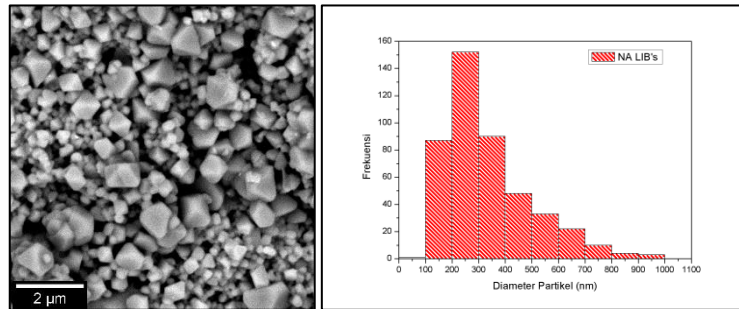
Gambar 5.11 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (1) AA Komersil



Gambar 5.12 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (3) NA Komersil

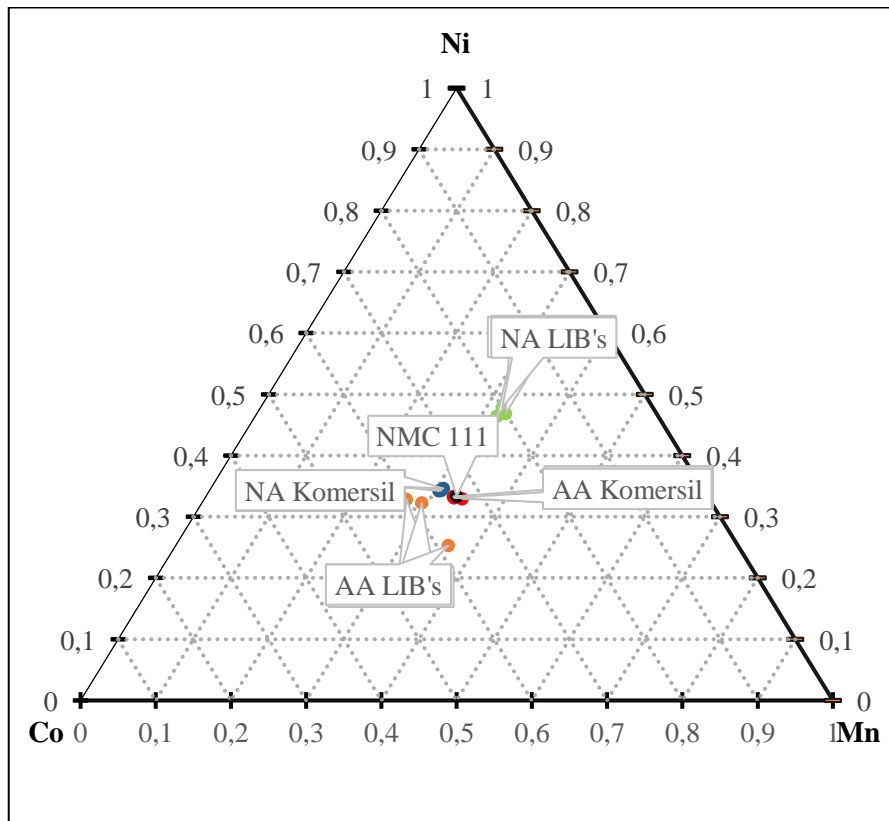


Gambar 5.13 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (5) AA LIB's



Gambar 5.14 SEM dan Diameter Distribusi Ukuran Sampel (7) NA LIB's

Pada sampel (1) AA Komersil dan (3) AA Komersil memiliki morfologi bentuk bola yang khas dibandingkan sampel (5) AA LIB's dan (7) NA LIB's dan semua sampel terdiri dari agregat polikristalin yang halus. Secara keseluruhan semua sampel memiliki distribusi ukuran yang seragam pada rentang 200 nm – 400 nm, namun pada sampel (3) dan (7) terlihat memiliki distribusi ukuran yang lebih besar yakni pada rentang 600 nm hingga 1 μm lebih banyak dibandingkan sampel (1) dan (5). Katoda hasil FASP berukuran nano lebih efektif karena memberikan permukaan elektroaktif yang lebih besar untuk difusi *lithium* yang cepat dan kepadatan pengepakan yang lebih tinggi untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan energi. Pada partikel berukuran nano, jarak di mana Li harus berdifusi secara signifikan dipersingkat, nanopartikel dapat dengan cepat menyerap dan menyimpan ion *lithium* dalam jumlah besar tanpa merusak elektroda dan nanopartikel memiliki luas permukaan yang besar, panjang difusi yang pendek, dan laju difusi yang cepat di sepanjang banyak batas butirnya (Ajayi dkk., 2017; Zheng dkk., 2019; Zhang dkk., 2020).



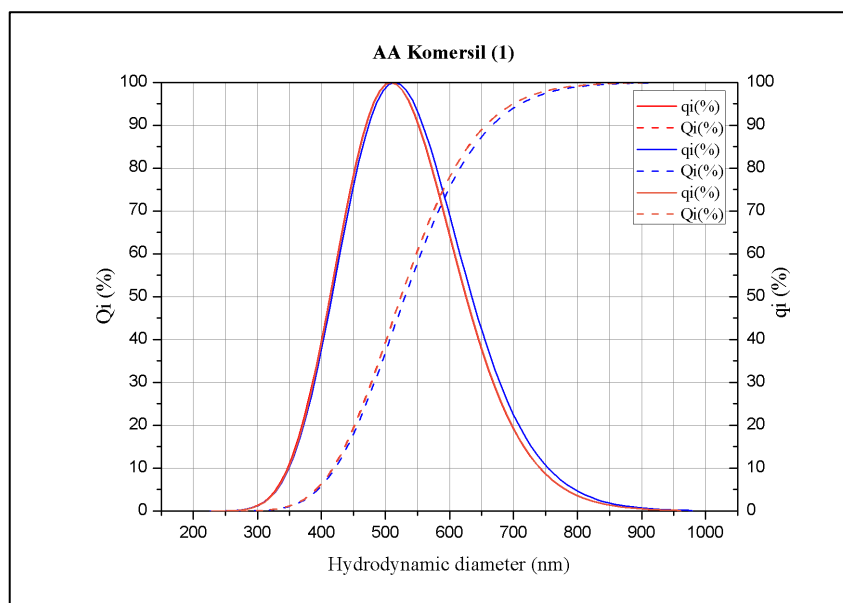
Gambar 5.15 Perbandingan dari Masa EDX Terhitung untuk $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3})\text{O}_2$ (111)

Hasil dari EDX diinterpretasikan pada Gambar 5.15, dari 3 titik pada masing masing sampel menunjukkan bahwa sampel (1) AA Komersil yang ditunjukkan dengan warna merah dan (3) NA Komersil yang ditunjukkan dengan warna biru sangat dekat posisinya dengan rasio NMC (warna hitam) yang beredar di industri. Hal ini menandakan secara komposisi sampel (1) dan (3) memiliki rasio logam *nickel*, *manganese*, dan *cobalt* yang sama. Sedangkan pada sampel (5) AA LIB's yang ditunjukkan dengan warna jingga memiliki 2 titik sampel yang letaknya cukup jauh dengan rasio NMC industri, dapat terlihat dengan jelas bahwa sampel (5) memiliki komposisi logam *cobalt* yang lebih banyak dibandingkan *nickel* dan *manganese*. Pada sampel (7) NA LIB's juga memiliki letak titik yang jauh dengan rasio NMC industri, nampak pada Gambar 5.15 sampel (7) memiliki komposisi logam *nickel* yang lebih banyak dibandingkan *manganese* dan *cobalt*. Dengan perbandingan sederhana dapat diketahui bahwa sampel (7) membentuk NMC dengan rasio 5:3:2 dan sampel

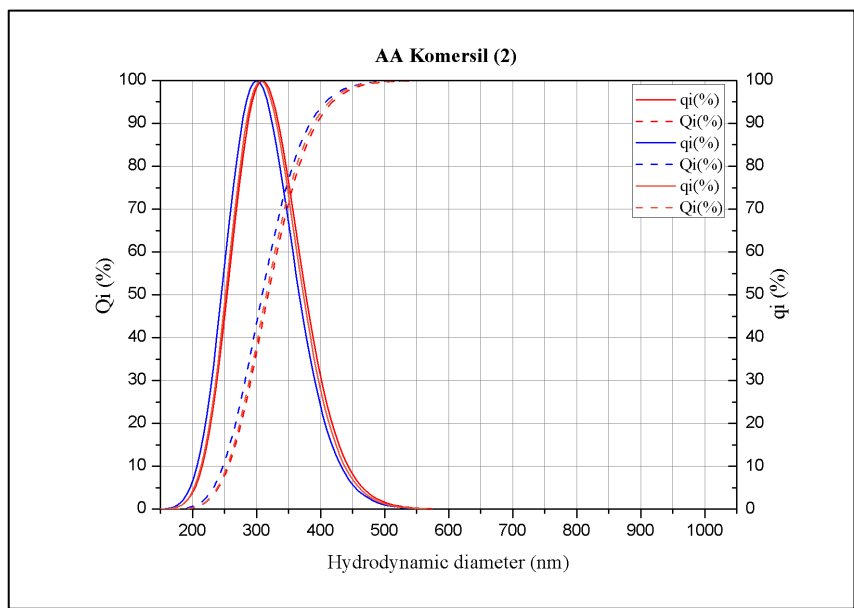
(5) membentuk NMC dengan rasio 3:3:4 untuk logam Ni:Mn:Co secara berurutan. Perbedaan komposisi ini terjadi karena perhitungan *molarity adjustment* yang kurang tepat dimana seharusnya logam yang memiliki kandungan paling sedikit dalam larutan prekursor *leachate* baterai bekas menjadi basis atau dasar dari perhitungan. Pada percobaan ini digunakan logam Li sebagai basis perhitungan karena dengan Li sebagai basis didapatkan data bahwa logam Ni dan Mn dalam kondisi berlebih sedangkan Co dalam kondisi kekurangan. Dari perhitungan tersebut akhirnya dilakukan penambahan logam Co, kemudian logam Ni dan Mn dibiarkan dalam kondisi berlebih.

5.3.3. Karakterisasi Distribusi Ukuran Partikel dengan PSA

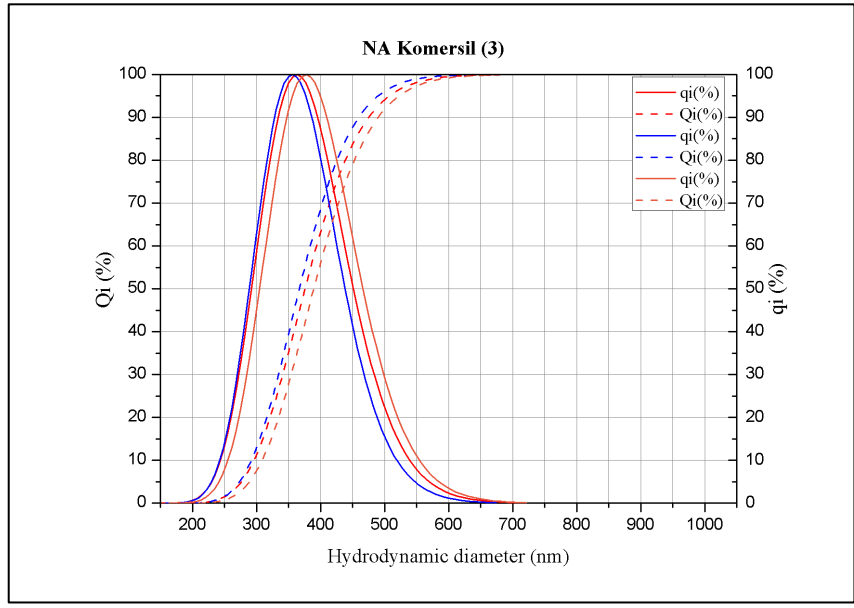
Distribusi ukuran partikel katoda NMC hasil FASP dikarakterisasi dengan PSA. Pengujian dengan PSA dilakukan secara *triplo* pada tiap masing-masing sampel dan diinterpretasikan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.17, Gambar 5.19, Gambar 5.21, dan Gambar 5.23 untuk sampel katoda NMC tanpa kalsinasi. Sedangkan Gambar 5.16, Gambar 5.18, Gambar 5.20, dan Gambar 5.22 untuk sampel katoda NMC dengan kalsinasi pada suhu 800°C selama 6 jam.



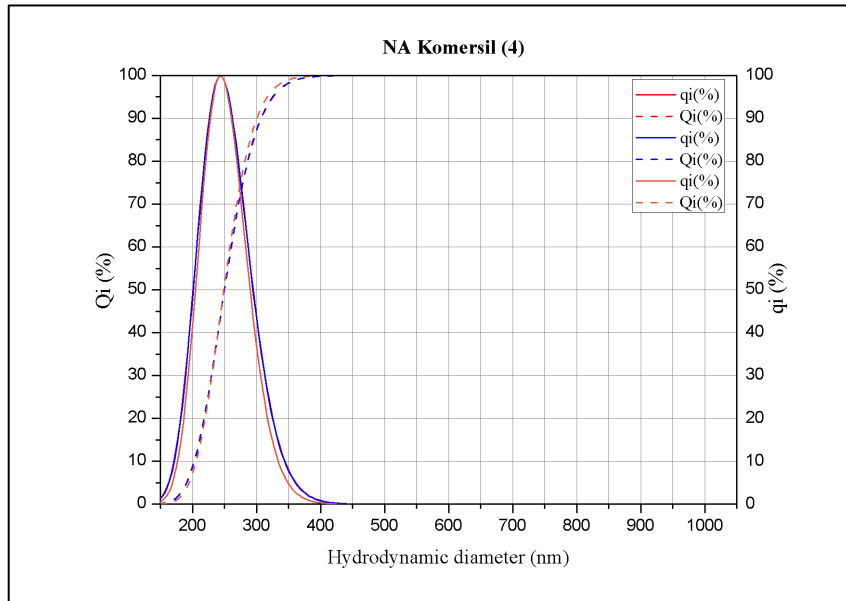
Gambar 5.16 Distribusi Ukuran Partikel (1) AA Komersil



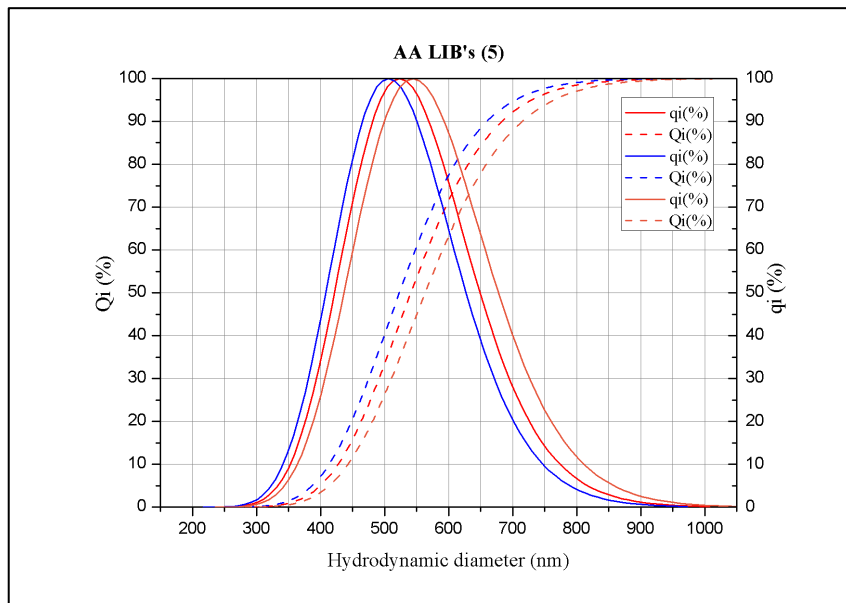
Gambar 5.17 Distribusi Ukuran Partikel (2) AA Komersil



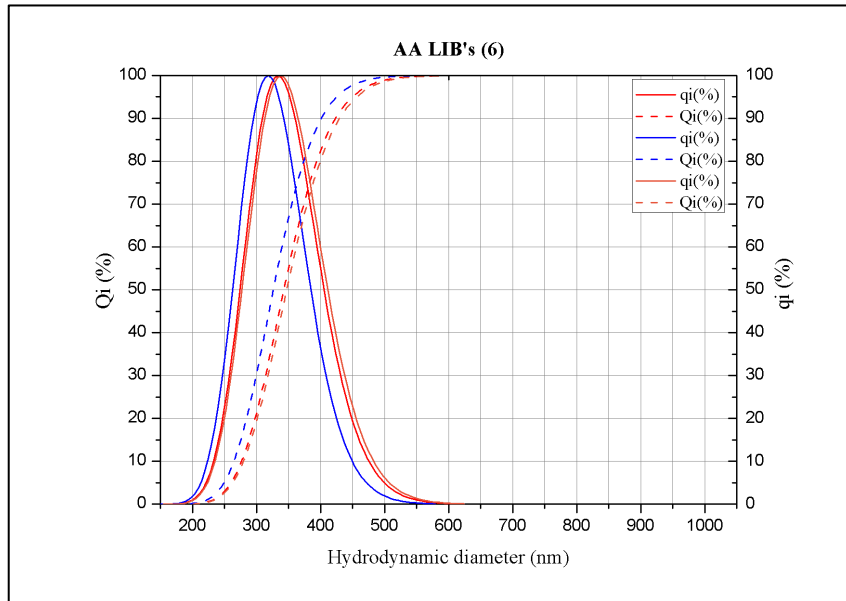
Gambar 5.18 Distribusi Ukuran Partikel (3) NA Komersil



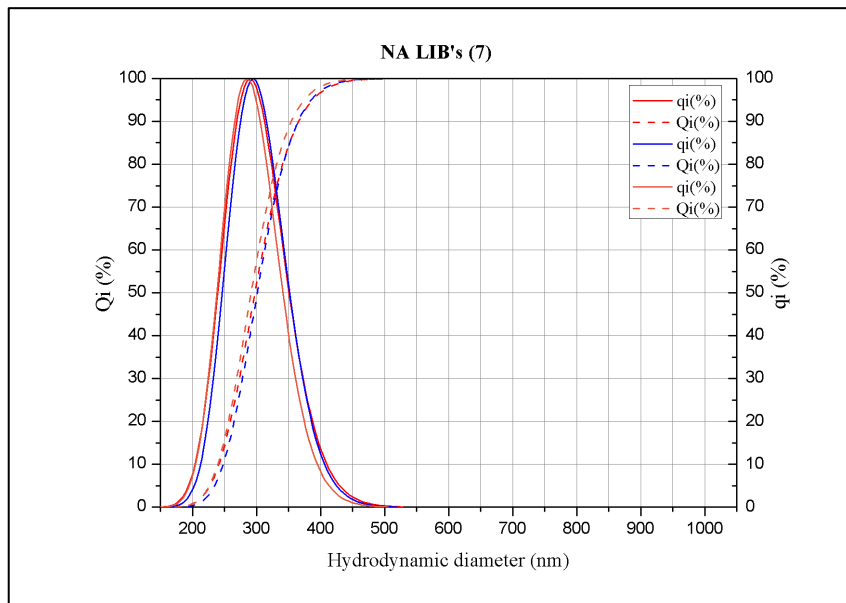
Gambar 5.19 Distribusi Ukuran Partikel (4) NA Komersil



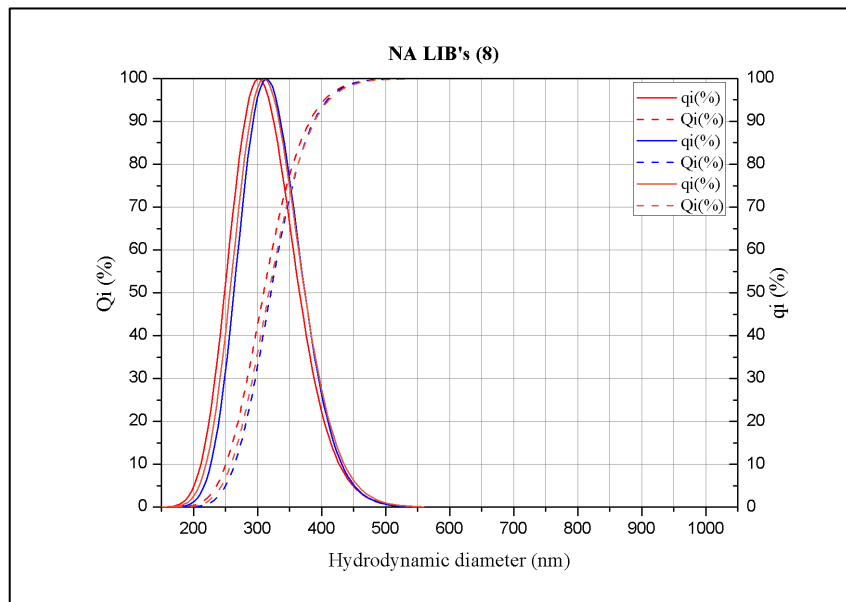
Gambar 5.20 Distribusi Ukuran Partikel (5) AA LIB's



Gambar 5.21 Distribusi Ukuran Partikel (6) AA LIB's



Gambar 5.22 Distribusi Ukuran Partikel (7) NA LIB's



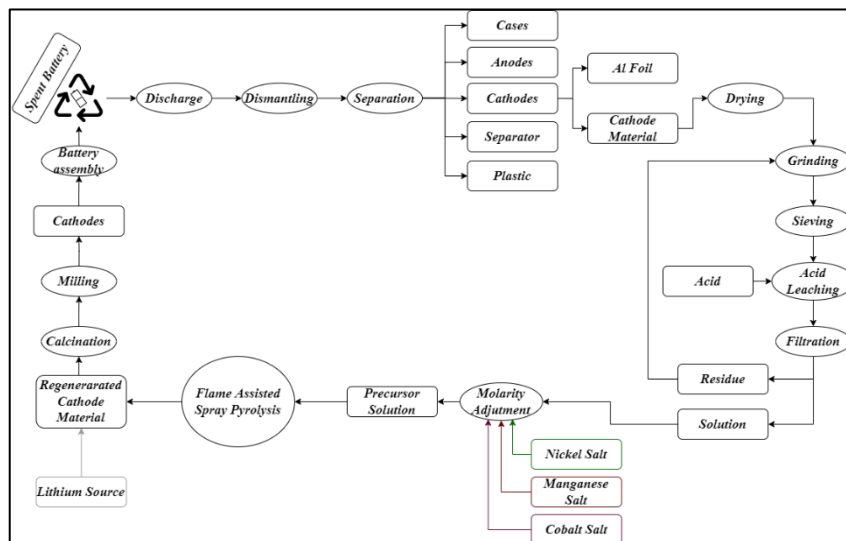
Gambar 5.23 Distribusi Ukuran Partikel (8) NA LIB's

Seperti ditunjukkan pada gambar diatas bahwa terlihat perbedaan ukuran partikel antara katoda NMC FASP tanpa kalsinasi dengan katoda NMC FASP yang melalui proses kalsinasi terlebih dahulu. Katoda NMC FASP tanpa kalsinasi memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan katoda NMC dengan kalsinasi. Ukuran partikel yang lebih besar ini disebabkan terjadinya aglomerasi antar partikel pada suhu tinggi. (Zhang, Muldoon dan Deng, 2022). Ukuran partikel rata-rata sebesar 533 nm; 309 nm; 383 nm; 253 nm; 546 nm; 357 nm; 292 nm; 313 nm untuk sampel (1) hingga (8) secara berurutan. Distribusi ukuran partikel terbesar yakni pada sampel (5) dan distribusi ukuran partikel terkecil pada sampel (4). Katoda NMC FASP dengan larutan prekursor nitrat memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan larutan prekursor asetat.

5.4. Rancangan Rute Daur Ulang Katoda Baterai *Lithium* Bekas

Dari percobaan yang telah dan pengujian yang telah dilakukan, percobaan ini menemukan rute skema daur ulang baterai *lithium* bekas dengan metode sintesis *Flame Assisted Spray Pyrolysis*. Daur ulang diawali dengan mengelompokkan baterai berdasarkan jenisnya. Kemudian dilakukan *pre-treatment (discharge,*

dismantling, separation, drying, grinding & sieving). Daur ulang dilanjutkan dengan ekstraksi dengan cara hidrometalurgi (*leaching & filtration*), larutan hasil *leaching* melalui proses *molarity adjustment* guna memastikan komposisi penyusun baterai sesuai dengan yang diinginkan. Material katoda yang berbahan dasar larutan prekursor pasca *molarity adjustment* disintesis dengan metode FASP. Katoda yang dihasilkan kemudian melalui proses penambahan *lithium* guna mengantisipasi kehilangan logam *lithium* berlebih ketika proses kalsinasi. Rute daur ulang katoda baterai *lithium* bekas secara lengkap disematkan pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Alur Proses Daur Ulang Katoda Baterai *Lithium* dengan Metode FASP

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses *pre-treatment* pada katoda LIB bekas memiliki pengaruh besar dalam proses daur ulang katoda LIB bekas. *Discharge, dismantling, separation*, kominusi, *sieving*, dan *heat treatment* berperan untuk meningkatkan efisiensi *recovery* elemen berharga dalam LIB dengan menghilangkan pengotor seperti *cases*, plastik, anoda dan pengikat (*binder*) hingga tersisa hanya 8,9% dari total material aktif katoda yang digunakan sebagai *feed* serta mengurangi konsumsi energi dalam proses *leaching*.
2. Kondisi optimum *leaching* anorganik (HNO_3) didapatkan pada 0,75M HNO_3 + 1,7% volume H_2O_2 , *Solid to liquid ratio* 20 gr/L, dan Temperatur 60°C dengan efisiensi *leaching* mencapai 83%; 71,15%; 85,82%; dan 99,76% untuk logam Li, Ni, Mn dan Co secara berurutan. Sedangkan kondisi optimum *leaching* organik (CH_3COOH) didapatkan pada 1,25M CH_3COOH + 4% volume H_2O_2 , *Solid to liquid ratio* 30 gr/L, dan Temperatur 70°C dengan efisiensi *leaching* mencapai 87,16%; 64,34%; 82,89%; dan 99,24% untuk logam Li, Ni, Mn dan Co secara berurutan
3. Penggunaan asam nitrat (HNO_3) dan asam asetat (CH_3COOH) sebagai larutan prekursor dalam pembuatan material katoda dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis* menghasilkan partikel dalam ukuran nano dalam rentang 200 – 400 nm yang seragam dan memiliki bentuk morfologi *spherical* (bola) dengan agregat polikristalin yang khas. Larutan prekursor asam nitrat cenderung membentuk katoda dengan

ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan katoda yang berasal dari larutan prekursor asam asetat. *Heat treatment* dengan kalsinasi juga berpengaruh terhadap ukuran partikel dimana semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu penahanan (*holding time*) akan memperbesar ukuran partikel.

4. Percobaan daur ulang katoda baterai *lithium* bekas berhasil dilakukan dan menghasilkan katoda NMC dengan ukuran nano dengan diawali dengan proses pengelompokan baterai, *pre-treatment* (*discharge, dismantling, separation, drying, grinding & sieving*), ekstraksi dengan cara hidrometalurgi (*leaching & filtration*), *molarity adjustment*, sintesis dengan metode *Flame Assisted Spray Pyrolysis*, penambahan *lithium*, dan berakhir dengan *heat treatment* (kalsinasi).

6.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ntuk kesempurnaan dan tercapainya hasil penelitian yang lebih optimal antara lain adalah:

1. Pada *leaching* dengan asam asetat diperlukan penelitian lebih lanjut secara seri mulai dari konsentrasi asam, konsentrasi zat pereduksi, temperatur, dan *solid to liquid ratio* yang lebih tinggi untuk mendapatkan kondisi *leaching* yang optimum.
2. Perlu dilakukan pengujian terkait performa elektrokimia katoda NMC hasil FASP untuk melengkapi data sebelum akhirnya katoda NMC dapat diproduksi secara masal.
3. Perlu dilakukan optimasi lebih lanjut pada alat FASP terutama pada kontrol suhu sintesis dan penangkapan material katoda hasil sintesis.
4. Diperlukan perhitungan *material balance* dalam penelitian selanjutnya agar proses daur ulang katoda berjalan efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Abram, C., Shan, J., Yang, X., Yan, C., Steingart, D., & Ju, Y. (2019). Flame Aerosol Synthesis and Electrochemical Characterization of Ni-Rich Layered Cathode Materials for Li-Ion Batteries. *ACS Applied Energy Materials*, 2(2), 1319–1329. <https://doi.org/10.1021/acsaem.8b01892>
- Agilent Technologies Inc. (2021). *ICP-OES principle, ICP-OES Analysis, ICP-OES FAQ's | Agilent*. <https://www.agilent.com/en/support/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/icp-oes-instruments/icp-oes-faq>
- Ajayi, B. P., Thapa, A. K., Cvelbar, U., Jasinski, J. B., & Sunkara, M. K. (2017). Atmospheric plasma spray pyrolysis of lithiated nickel-manganese-cobalt oxides for cathodes in lithium ion batteries. *Chemical Engineering Science*, 174, 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.09.022>
- Apriliyani, E., Arinawati, M., Nisa, S. S., Muzayanha, S. U., & Paramitha, T. (2021). Li-ion Batteries Waste Processing and Utilization Progress: A Review. *Energy Storage Technology and Applications*, 1(1), 25. <https://doi.org/10.20961/esta.v1i1.56801>
- Arora, P., & Zhang, Z. (2004). Battery separators. *Chemical Reviews*, 104(10), 4419–4462. <https://doi.org/10.1021/cr020738u>
- Arora, Y. (2015). *Lithium-Ion Battery Systems: a Process Flow and Systems Framework Designed for Use in the Development of a Lifecycle Energy Model*. May, 107.
- Babanejad, S., Ahmed, H., Andersson, C., Samuelsson, C., Lennartsson, A., Hall, B., & Arnerlöf, L. (2022). High-Temperature Behavior of Spent Li-Ion Battery Black Mass in Inert Atmosphere. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 8(1), 566–581. <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00514-y>
- Batteries, C. L., & Fowler, M. (2021). Comparative Study of Equivalent Circuit Models Performance. *MDPI Batteries*.
- Bi, H., Zhu, H., Zu, L., Bai, Y., Gao, S., & Gao, Y. (2019). A new model of trajectory in eddy current separation for recovering spent lithium iron phosphate batteries. In *Waste Management* (Vol. 100, pp. 1–9). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.041>
- Bottom, R. (2008). Thermogravimetric Analysis. *Principles and Applications of Thermal Analysis*, 1(906), 87–118. <https://doi.org/10.1002/9780470697702.ch3>
- Braun, P. V., & Lange, J. G. (2012). Improving lithium-ion battery power and energy densities using novel cathode architectures and materials. *THESIS - U*

Illinois-U/C, 66. <http://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/31945>

- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Chen, H., Gu, S., Guo, Y., Dai, X., Zeng, L., Wang, K., He, C., Dodbiba, G., Wei, Y., & Fujita, T. (2021). Leaching of cathode materials from spent lithium-ion batteries by using a mixture of ascorbic acid and HNO₃. *Hydrometallurgy*, 205(January). <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105746>
- Chen, X., Chen, Y., Zhou, T., Liu, D., Hu, H., & Fan, S. (2015). Hydrometallurgical recovery of metal values from sulfuric acid leaching liquor of spent lithium-ion batteries. *Waste Management*, 38(1), 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.023>
- Chen, Y., Liu, N., Hu, F., Ye, L., Xi, Y., & Yang, S. (2018). Thermal treatment and ammoniacal leaching for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries. *Waste Management*, 75, 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.024>
- Cho, K., Chang, H., Kil, D. S., Park, J., Jang, H. D., & Sohn, H. Y. (2009). Mechanisms of the formation of silica particles from precursors with different volatilities by flame spray pyrolysis. *Aerosol Science and Technology*, 43(9), 911–920. <https://doi.org/10.1080/02786820903025986>
- Connolly, J. R. (2007). Introduction to X-ray Powder Diffraction. *Eps400-002*, 1–9.
- De Lloyd, D. (2000). *Atomic Absorption Spectrophotometer Instrument*. University of West Indies. <http://delloyd.50megs.com/moreinfo/AA.html>
- Ebin, B., Petranikova, M., & Ekberg, C. (2018). Physical separation, mechanical enrichment and recycling-oriented characterization of spent NiMH batteries. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(4), 2018–2027. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0751-4>
- Eftekhari, A. (2019). Future Lithium-ion Batteries. In *Future Lithium-ion Batteries*. <https://doi.org/10.1039/9781788016124>
- Ellingham, S. T. D., Thompson, T. J. U., & Islam, M. (2018). Scanning Electron Microscopy–Energy-Dispersive X-Ray (SEM/EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 504–510. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13541>
- Fan, E., Li, L., Wang, Z., Lin, J., Huang, Y., Yao, Y., Chen, R., & Wu, F. (2020). Sustainable Recycling Technology for Li-Ion Batteries and Beyond: Challenges and Future Prospects. *Chemical Reviews*, 120(14), 7020–7063. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00535>

- Fu, Y., Jiang, H., Hu, Y., Dai, Y., Zhang, L., & Li, C. (2015). Synergistic enhancement effect of Al doping and highly active facets of LiMn₂O₄ cathode materials for lithium-ion batteries. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *54*(15), 3800–3805. <https://doi.org/10.1021/ie504659h>
- Gaines, L. (2018). Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, *17*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00068>
- Gao, S., Liu, W., Fu, D., & Liu, X. (2022). Research progress on recovering the components of spent Li-ion batteries. *New Carbon Materials*, *37*(3), 435–460. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(22\)60605-X](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(22)60605-X)
- Georgi-Maschler, T., Friedrich, B., Weyhe, R., Heegn, H., & Rutz, M. (2012). Development of a recycling process for Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, *207*, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.01.152>
- Girão, A. V., Caputo, G., & Ferro, M. C. (2017). Application of Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). *Comprehensive Analytical Chemistry*, *75*, 153–168. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.10.002>
- Goodenough, J. B., & Kim, Y. (2010). Challenges for rechargeable Li batteries. In *Chemistry of Materials* (Vol. 22, Issue 3, pp. 587–603). <https://doi.org/10.1021/cm901452z>
- Hanisch, C., Loellhoffel, T., Diekmann, J., Markley, K. J., Haselrieder, W., & Kwade, A. (2015). Recycling of lithium-ion batteries: A novel method to separate coating and foil of electrodes. *Journal of Cleaner Production*, *108*, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.026>
- Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. J. (2018). State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. In *IEEE Access* (Vol. 6, Issue March, pp. 19362–19378). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2817655>
- Hou, X., Amais, R. S., Jones, B. T., & Donati, G. L. (2017). Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Encyclopedia of Plasma Technology*, 655–678. <https://doi.org/10.1081/e-eplt-120052737>
- Inan, T. Y. (2017). Thermoplastic-based nanoblends: Preparation and characterizations. *Recent Developments in Polymer Macro, Micro and Nano Blends: Preparation and Characterisation*, 17–56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100408-1.00002-9>
- Jatmiko, W. A. (2019). *Pengaruh Rasio Jumlah Dan Diameter Bola Baja Dalam Proses Sintesis Material Dengan Shaker Milling Terhadap Ukuran Partikel Kaolin*.
- Julinawati, J., Marlina, M., Nasution, R., & Sheilatina, S. (2015). Applying Sem-

- edx Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, 15(2), 116128.
- Jung, J. C. Y., Sui, P. C., & Zhang, J. (2021). A review of recycling spent lithium-ion battery cathode materials using hydrometallurgical treatments. *Journal of Energy Storage*, 35(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102217>
- Khan, K. F. (2019). Application, principle and operation of ICP-OES in pharmaceutical analysis. *The Pharma Innovation Journal*, 8(11), 281–282.
- Kim, S., Bang, J., Yoo, J., Shin, Y., Bae, J., Jeong, J., Kim, K., Dong, P., & Kwon, K. (2021). A comprehensive review on the pretreatment process in lithium-ion battery recycling. *Journal of Cleaner Production*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126329>
- Lee, C. K., & Rhee, K. I. (2002). Preparation of LiCoO₂ from spent lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 109(1), 17–21. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00037-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00037-X)
- Lee, C. K., & Rhee, K. I. (2003). Reductive leaching of cathodic active materials from lithium ion battery wastes. *Hydrometallurgy*, 68(1–3), 5–10. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00167-6](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00167-6)
- Lee, M. J., Lee, S., Oh, P., Kim, Y., & Cho, J. (2014). High performance LiMn₂O₄ cathode materials grown with epitaxial layered nanostructure for Li-Ion batteries. *Nano Letters*, 14(2), 993–999. <https://doi.org/10.1021/nl404430e>
- Lengyel, M., Atlas, G., Elhassid, D., Luo, P. Y., Zhang, X., Belharouak, I., & Axelbaum, R. L. (2014). Effects of synthesis conditions on the physical and electrochemical properties of Li_{1.2}Mn_{0.54}Ni_{0.13}Co_{0.13}O₂ prepared by spray pyrolysis. *Journal of Power Sources*, 262, 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.113>
- Lengyel, M., Elhassid, D., Atlas, G., Moller, W. T., & Axelbaum, R. L. (2014). Development of a scalable spray pyrolysis process for the production of non-hollow battery materials. *Journal of Power Sources*, 266, 175–178. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.04.143>
- Lewis, A., Chivavava, J., du Plessis, J., Smith, D., & Smith, J. L. (2021). Innovative Reactors for Recovery of Rare Earth Elements (REEs). In *Minerals, Metals and Materials Series* (Issue February). https://doi.org/10.1007/978-3-030-65489-4_14
- Li, S., Ren, Y., Biswas, P., & Tse, S. D. (2016). Flame aerosol synthesis of nanostructured materials and functional devices: Processing, modeling, and diagnostics. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 55, pp. 1–59). <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.04.002>
- Life, P., & Sciences, A. (2004). Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy. *Emission Spectroscopy*, 1–22.

- Liu, T., Chen, J., Li, H., & Li, K. (2020). An integrated process for the separation and recovery of valuable metals from the spent $\text{LiNi}_0.5\text{Co}_0.2\text{Mn}_0.3\text{O}_2$ cathode materials. *Separation and Purification Technology*, 245(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116869>
- Liu, Y., Yu, H., Wang, Y., Tang, D., Qiu, W., Li, W., & Li, J. (2022). Microwave hydrothermal renovating and reassembling spent lithium cobalt oxide for lithium-ion battery. *Waste Management*, 143(March), 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.024>
- Madero, J. E., Li, J., Shen, K.-Y., Wojtak, J., & Axelbaum, R. L. (2021). An approach to low-temperature flame spray pyrolysis for the synthesis of temperature-sensitive materials: Application to $\text{Li}_1.2\text{Mn}_0.54\text{Ni}_0.13\text{Co}_0.13\text{O}_2$. *Applications in Energy and Combustion Science*, 5(July 2020), 100020. <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2020.100020>
- Maiyalagan, T., & Elumalai, P. (2020). Rechargeable Lithium-ion Batteries: Trends and Progress in Electric Vehicles. In *Rechargeable Lithium-ion Batteries: Trends and Progress in Electric Vehicles*. <https://doi.org/10.1201/9781351052702>
- Makwarimba, C. P., Tang, M., Peng, Y., Lu, S., Zheng, L., Zhao, Z., & Zhen, A. (2022). Assessment of recycling methods and processes for lithium-ion batteries. *IScience*, 25(5), 104321. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104321>
- Malik, M., Chan, K. H., & Azimi, G. (2021). Effect of Synthesis Method on the Electrochemical Performance of LiNiMnCoO (NMC) Cathode for Li-Ion Batteries: A Review. *Minerals, Metals and Materials Series*, 37–46. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65489-4_5
- Masaki Yoshio, H. N. (2009). Lithium-Ion Batteries, Chapter 2. In *Lithium-Ion Batteries*. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-0-387-34445-4.pdf>
- Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R. (2015). Recovery of valuable metals from cathodic active material of spent lithium ion batteries: Leaching and kinetic aspects. *Waste Management*, 45, 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.027>
- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en12061074>
- Mikolajczak, C., Kahn, M., White, K., & Long, R. T. (2011). *Lithium-Ion Battery Failures*. July, 43–70. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3486-3_4
- Myung, S. T., Maglia, F., Park, K. J., Yoon, C. S., Lamp, P., Kim, S. J., & Sun, Y. K. (2017). Nickel-Rich Layered Cathode Materials for Automotive Lithium-Ion Batteries: Achievements and Perspectives. *ACS Energy Letters*, 2(1), 196–223. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.6b00594>

- Nasution, M. (2021). Muslih Nasution Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik. *Cetak) Journal of Electrical Technology*, 6(1), 35–40.
- Nengsih, N. Y., Putri, F. H., Perceka, R. M., & RAMADANA, R. M. (2013). Biofungisida Nanopartikel Perak dari *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Nitta, N., & Yushin, G. (2014). High-capacity anode materials for lithium-ion batteries: Choice of elements and structures for active particles. *Particle and Particle Systems Characterization*, 31(3), 317–336. <https://doi.org/10.1002/ppsc.201300231>
- Nunes, D., Pimentel, A., Santos, L., Barquinha, P., Pereira, L., Fortunato, E., & Martins, R. (2019). Synthesis, design, and morphology of metal oxide nanostructures. In *Metal Oxide Nanostructures* (pp. 21–57). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811512-1.00002-3>
- Or, T., Gourley, S. W. D., Kaliyappan, K., Yu, A., & Chen, Z. (2020). Recycling of mixed cathode lithium-ion batteries for electric vehicles: Current status and future outlook. *Carbon Energy*, 2(1), 6–43. <https://doi.org/10.1002/cey2.29>
- Paul, B. N., Chanda, S., Das, S., & Giri, S. S. (2016). Mineral Assay in Atomic Absorption Spectroscopy Mineral Assay in Atomic Absorption Spectroscopy. *The Beats of Natural Sciences*, 1(4), 1–17.
- Philippe, B. (2013). *Insights in Li-ion Battery Interfaces through Photoelectron Spectroscopy* *Depth Profiling*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-197250>
- Pişkin, B., Uygur, C. S., & Aydınol, M. K. (2020). Morphology effect on electrochemical properties of doped (W and Mo) 622NMC, 111NMC, and 226NMC cathode materials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(14), 7874–7880. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.249>
- Ponnamma, D., Sadasivuni, K. K., Cabibihan, J. J., & Al-Maadeed, M. A. A. (2021). Front Matter. In *Smart Polymer Nanocomposites* (pp. i–ii). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819961-9.09991-6>
- Rahmawati, M., & Jihad, A. (2019). *Ulasan Pengaruh Metode Sintesis dan Agen Penghelat Terhadap Performa Baterai Litium NMC*. *January 2021*, 140–148. <https://www.researchgate.net/publication/348834740>
- Rajisha, K. R., Deepa, B., Pothan, L. A., & Thomas, S. (2011). Thermomechanical and spectroscopic characterization of natural fibre composites. *Interface Engineering of Natural Fibre Composites for Maximum Performance*, 241–274. <https://doi.org/10.1533/9780857092281.2.241>
- RESEARCHINTERFACES. (2018). *What do we know about next-generation NMC 811 cathode?* <https://researchinterfaces.com/know-next-generation-nmc-811->

cathode/

- Roji, A. M. M., Jiji, G., & Raj, A. B. T. (2017). A retrospect on the role of piezoelectric nanogenerators in the development of the green world. *RSC Advances*, 7(53), 33642–33670. <https://doi.org/10.1039/c7ra05256a>
- Ross, B. J., Leresche, M., Liu, D., Durham, J. L., Dahl, E. U., & Lipson, A. L. (2020). Mitigating the Impact of Thermal Binder Removal for Direct Li-Ion Battery Recycling. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(33), 12511–12515. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03424>
- Rushendra Paravasthu. (2012). SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF LITHIUM-ION CATHODE MATERIALS IN THE SYSTEM $(1-x-y)\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2 \cdot x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot y\text{LiCoO}_2$. In *Department of Mechanical Engineering In* (Vol. 7, Issue June).
- Sari, A. M. M. (2018). *Rccovery Perak Menggunakan Metode Leaching Pelarut Tiosulfat dari Logam Perak Murni*.
- Shuva, M. A. H., & Kurny, A. S. W. (2013). Dissolution Kinetics of Cathode of Spent Lithium Ion Battery in Hydrochloric Acid Solutions. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 94(1), 13–16. <https://doi.org/10.1007/s40033-013-0018-0>
- Sides, C. R., Li, N., Patrissi, C. J., Scrosati, B., & Martin, C. R. (2002). Nanoscale materials for lithium-ion batteries. In *MRS Bulletin* (Vol. 27, Issue 8, pp. 1–4). <https://doi.org/10.1557/mrs2002.195>
- Sojka, R., Pan, Q., & Billmann, L. (2020). Comparative study of Li-ion battery recycling processes. *ACCUREC Recycling GmbH*.
- Solorio, H. (2021). *Hydrometallurgical recovery of critical metals from NMC 523 powders and its associated environmental impacts* (Issue December).
- Suryono, E., Margono, B., & Kristiawan, Y. Y. (2017). KONDISI OPTIMUM FLAME ASSISTED SPRAY PYROLISIS PADA PEMBUATAN LITHIUM IRON PHOSPATE (LIFEPO4) SEBAGAI MATERIAL KATODA BATERAI LITIUM ION. *Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017*, 4, 629–636. <https://jurnal.umk.ac.id/index.php/SNA/article/view/1402>
- Syvitski, J. P. M. (1991). Principles, methods, and application of particle size analysis. *Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis*, April. <https://doi.org/10.1139/t92-115>
- Thackeray, M. M., David, W. I. F., Bruce, P. G., & Goodenough, J. B. (1983). Lithium insertion into manganese spinels. *Materials Research Bulletin*, 18(4), 461–472. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(83\)90138-1](https://doi.org/10.1016/0025-5408(83)90138-1)
- Vanderbruggen, A., Salces, A., Ferreira, A., Rudolph, M., & Serna-Guerrero, R. (2022). Improving Separation Efficiency in End-of-Life Lithium-Ion Batteries Flotation Using Attrition Pre-Treatment. *Minerals*, 12(1).

<https://doi.org/10.3390/min12010072>

- Voronov, V. A., Shvetsov, A. O., Gubin, S. P., Cheglakov, A. V., Kornilov, D. Y., Karaseva, A. S., Krasnova, E. S., & Tkachev, S. V. (2016). Effect of the preparation method of the cathode material $\text{LiNi}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{O}_2$ on the electrochemical characteristics of a lithium ion cell. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 61(9), 1153–1159. <https://doi.org/10.1134/S0036023616090217>
- Vyazovkin, S. (2012). Thermogravimetric Analysis: Characterisation of Materials. *Characterization of Materials*, 344–362. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471266965.com029.pub2>
- Wang, R. C., Lin, Y. C., & Wu, S. H. (2009). A novel recovery process of metal values from the cathode active materials of the lithium-ion secondary batteries. *Hydrometallurgy*, 99(3–4), 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2009.08.005>
- Warner, J. T. (2019). Lithium-ion battery chemistries: A primer. In *Lithium-Ion Battery Chemistries: A Primer*. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02140-7>
- Wibisono, D. K. (2017). *EKSTRAKSI Ni, Fe, Co DAN Mn DARI BIJIH LATERIT MELALUI PELINDIAN MENGGUNAKAN ASAM NITRAT*.
- Writer, B. (2019). Lithium-Ion Batteries - A Machine-Generated Summary of Current Research. In *Springer Nature*. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-16800-1_3
- Xu, B., Qian, D., Wang, Z., & Meng, Y. S. (2012). Recent progress in cathode materials research for advanced lithium ion batteries. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 73(5–6), 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2012.05.003>
- Yao, L. P., Zeng, Q., Qi, T., & Li, J. (2020). An environmentally friendly discharge technology to pretreat spent lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118820>
- Yu, W., Guo, Y., Shang, Z., Zhang, Y., & Xu, S. (2022). A review on comprehensive recycling of spent power lithium-ion battery in China. *ETransportation*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100155>
- Yuan, X., Liu, H., & Zhang, J. (2016). Lithium-ion batteries: Advanced materials and technologies. In *Lithium-Ion Batteries: Advanced Materials and Technologies* (Issue July).
- Zang, G., Zhang, J., Xu, S., & Xing, Y. (2021). Techno-economic analysis of cathode material production using flame-assisted spray pyrolysis. *Energy*, 218, 119504. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119504>
- Zhang, J., Muldoon, V. L., & Deng, S. (2022). Accelerated synthesis of $\text{Li}(\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1})\text{O}_2$ cathode materials using flame-assisted spray

pyrolysis and additives. *Journal of Power Sources*, 528(December 2021).
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231244>

Zhang, J., Singh, G., Xu, S., Hamad, K., Ratner, A., & Xing, Y. (2020). A scalable approach of using biomass derived glycerol to synthesize cathode materials for lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, 271.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122518>

Zhang, S. (2007). Characterization of high tap density Li[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]O₂ cathode material synthesized via hydroxide co-precipitation. *Electrochimica Acta*, 52(25), 7337–7342. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.06.015>

Zhang, W., Xu, C., He, W., Li, G., & Huang, J. (2018). A review on management of spent lithium ion batteries and strategy for resource recycling of all components from them. *Waste Management and Research*, 36(2), 99–112.
<https://doi.org/10.1177/0734242X17744655>

Zheng, Y., Wang, S., Gao, Y., Yang, T., Zhou, Q., Song, W., Zeng, C., Wu, H., Feng, C., & Liu, J. (2019). Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide Recovery via Spray Pyrolysis Directly from the Leachate of Spent Cathode Scraps. *ACS Applied Energy Materials*, 2(9), 6952–6959.
<https://doi.org/10.1021/acsaem.9b01647>

LAMPIRAN A
HASIL PENGUJIAN

Tabel A. 1 Hasil Pengujian ICP-OES *Leaching* dengan Asam Asetat

NO	SAMPEL	Al (mg/L)	Co (mg/L)	Fe (mg/L)	Li (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Si (mg/L)	Sn (mg/L)
1	AA 40 C 50 x	1,1984	30,0307	0,0482	18,4396	49,0024	58,3640	2,6507	0,8140
2	AA 50 C 50 x	0,8122	30,2521	0,0385	18,4064	48,324	57,8755	2,6635	0,1896
3	AA 60 C 50 x	1,3888	28,6196	0,0329	17,4794	46,5177	55,0239	2,5429	0,5132
4	AA 70 C 50 x	1,5074	28,4275	0,0143	18,3102	46,6313	55,3698	2,2888	0,6019
5	AA 80 C 50 x	2,0417	31,9677	0,0193	19,6770	50,6235	60,2034	2,1740	0,4832
6	AA 0,25 M 50 x	0,9189	14,5737	0,0032	11,7899	31,1992	28,7115	2,1963	0,5655
7	AA 0,5 M 50 x	1,5299	22,5912	0,0168	15,8820	39,8571	44,3378	2,0797	0,4953
8	AA 0,75 M 50X	1,3888	28,6196	0,0329	17,4794	46,5177	55,0239	2,5429	0,5132
9	AA 1:100 50 x	0,9163	22,8645	0,0410	12,4550	29,8363	39,9610	1,9705	0,4752
10	AA 1,5:100 50 x	1,0519	29,2610	0,0095	17,5290	44,4529	55,2578	2,1106	0,1528
11	AA 2:100 50X	1,3888	28,6196	0,0329	17,4794	46,5177	55,0239	2,5429	0,5132
12	AA 2,5:100 50 x	1,1071	27,2263	0,0171	19,3247	52,495	54,4912	2,6773	0,5711
13	AA 3:100 50 x	0,9711	31,0210	0,0125	22,1847	62,4482	61,3165	2,7000	0,7073
14	AA 1 M 50x	1,2219	30,0494	0,0254	17,6148	45,8825	57,8779	2,5818	0,4495
15	AA 1,25 M 50x	1,2484	54,2788	0,2121	27,1643	79,5207	85,1444	3,0994	0,6175
16	Fix Mixed Cathode 1 50x	0,5596	54,6929	1,1197	31,1674	95,9350	132,3250	-	-
17	Fix Mixed Cathode 2 50x	0,4063	59,1174	1,0761	35,0011	106,4980	146,2500	-	-

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN
RESULT TEST REPORT**

Jenis Pengujian / Item Test : Logam
No Laporan / Test Report No : Lab.NEO 395 / LG / IV / 2022
Pelanggan / Costumer : PT.HMI
Kontak Person / Contact Person : Bpk.Mohamad Handal Islami
Nama Sampel test / Name of test item : BRIN
Tipe Sampel / Sample Type : Solution
Jumlah Sampel / Qty Sample : 5 ml

No Order / Order No : 395 - 22
Tgl Terima / Date of received : 28 - 04 - 2022
Tgl Uji / Date of test : 28 - 04 - 2022
Standard Uji / Standard of test : SNI 13-6974-2003
Alat Uji / Instrument : AAS
Diuji Oleh / Tested by : Lab Material

NAMA SAMPEL Sample name	SATUAN Unit	HASIL UJI Test Result							KETERANGAN Remarks
		Ni	Fe	Co	Mn	Mg	Al	Cr	
Air - Fe - Cyanex 2	g/L	4.8956	0.0188	0.2346	2.3647	0.9903	3.2510	0.2100	
Air - Fe - 1.7 - Zx	g/L	4.9889	0.0068	0.2540	2.7258	1.1688	5.3104	0.2636	
Fe - Presipitasi	g/L	2.5425	0.0049	0.1267	1.3962	0.5798	0.1255	0.0060	
Air - Al - Cyanex 3	g/L	4.2476	0.0000	0.2345	2.3945	1.0773	1.7778	0.2196	
Fe - Cyanex 2	g/L	0.0032	0.6458	0.0008	0.0536	0.0003	0.0029	0.0056	
Filtrat DMG	g/L	0.0000	0.0001	0.0021	0.0319	0.0015	0.0000	0.0012	
ST - DMG	g/L	1.8941	0.0000	0.1309	1.1763	0.6905	2.5298	0.1172	
MHP + KMnO ₄ 5 g/L	g/L	45.7260	0.0076	0.9580	0.9711	0.2273	0.0000	0.0844	
HNO ₃ 0,25 M	g/L	0.9537	0.0000	0.4995	2.1003	0.0530	0.0000	0.0013	
HNO ₃ 0,5 M	g/L	3.5408	0.0000	2.1468	5.0874	0.1087	0.0000	0.0019	
HNO ₃ 0,75 M	g/L	4.8501	0.0057	2.8737	5.7895	0.1080	0.0349	0.0114	
HNO ₃ 1 M	g/L	4.4576	0.0054	2.6576	5.3144	0.1073	0.0546	0.0026	
HNO ₃ 1,25 M	g/L	4.4980	0.0051	2.7260	5.4291	0.1074	0.0322	0.0092	
HNO ₃ 40°C	g/L	5.0600	0.0020	2.5648	4.1056	0.0010	0.0179	0.0022	
HNO ₃ 50°C	g/L	2.3569	0.0073	2.8448	4.4954	0.0014	0.0330	0.0043	
HNO ₃ 60°C	g/L	5.0551	0.0056	2.7926	4.1435	0.0009	0.0006	0.0036	
HNO ₃ 70°C	g/L	5.2823	0.0053	2.9778	4.2087	0.0009	0.0284	0.0038	
HNO ₃ 80°C	g/L	5.3724	0.0000	2.7938	4.5231	0.0011	0.0262	0.0023	
HNO ₃ 1 : 100	g/L	1.9539	0.0017	1.4415	1.9387	0.0004	0.0205	0.0008	
HNO ₃ 1,5 : 100	g/L	3.4450	0.0024	2.2049	3.0244	0.0006	0.0238	0.0019	
HNO ₃ 2 : 100	g/L	5.2405	0.0051	2.9653	4.3204	0.0008	0.0375	0.0046	
HNO ₃ 2,5 : 100	g/L	5.2859	0.0000	2.7753	4.7944	0.0014	0.0263	0.0000	
HNO ₃ 3 : 100	g/L	4.7604	0.0000	2.6940	5.0055	0.0010	0.0261	0.0000	

Catatan :
 * : Laporan pengujian ini hanya berlaku untuk sampel sebagai mana tersebut diatas
 (This testreport is only valid for the test item which is stated on the above data)
 ✓ : Memenuhi (Comply)
 X : Tidak Memenuhi (Not Comply)
 * : Persyaratan pada tingkat kepercayaan 95% dengan k = 2

Cikungsi , 28 April 2022
Approved By



Head of Laboratory
(Nanda Rizky Amalia, S.T)

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
RESULT TEST REPORT

Jenis Pengujian / Item Test : Logam
No Laporan / Test Report No : Lab.NEO 395 / LG / IV / 2022
Pelanggan / Costumer : PT.HMI
Kontak Person / Contact Person : Bpk.Mohamad Handal Islami
Nama Sampel test / Name of test item : BRIN
Tipe Sampel / Sample Type : Padatan
Jumlah Sampel / Qty Sample : 0.5 gr

No Order / Order No : 395 - 22
Tgl Terima / Date of received : 28 - 04 - 2022
Tgl Uji / Date of test : 28 - 04 - 2022
Standard Uji / Standard of test : SNI 13-6974-2003
Alat Uji / Instrument : AAS
Diuji Oleh / Tested by : Lab Material

NAMA SAMPEL Sample name	SATUAN Unit	HASIL UJI Test Result							KETERANGAN Remarks
		Ni	Fe	Co	Mn	Mg	Al	Cr	
DMG - Ni , Co	%	1.6897	0.0173	0.0568	9.2200	0.0371	2.8149	0.1260	
Feed NMC - Calcine 1h	%	6.1552	0.0678	0.2193	9.8257	0.0327	0.1077	0.0295	
Residu KMnO ₄ 5 g/L (1)	%	13.5806	1.1441	4.5557	22.8771	0.0736	0.0000	0.2188	
Residu KMnO ₄ 5 g/L (2)	%	17.1951	2.0842	0.7475	12.4499	0.0751	0.0130	0.1474	
Residu MHP 0.5 M	%	21.2186	0.1232	11.5141	7.7944	0.0074	0.0000	0.0940	
Residu MHP 0.75 M	%	16.1861	1.4310	0.9147	17.6553	0.0696	0.0129	0.1094	
Residu MHP 1 M	%	16.1325	0.3954	1.1192	18.8340	0.0738	0.0075	0.0886	
Residu MHP 1.25 M	%	8.3181	0.5032	0.3958	23.2934	0.0251	0.0035	0.0827	
Residu MHP 1.5 M	%	7.5201	0.5189	0.2991	3.5025	1.4440	0.0000	0.1254	
Residu HNO ₃ 40°C	%	4.5841	0.4023	12.6715	1.6997	0.0207	0.0216	0.0313	
Residu HNO ₃ 50°C	%	0.2322	0.0000	0.1177	0.1507	0.0039	0.0000	0.0164	
Residu HNO ₃ 60°C	%	0.3390	0.0046	0.4414	0.2622	0.0050	0.0000	0.0283	
Residu HNO ₃ 70°C	%	0.2892	0.4985	0.9059	0.2034	0.0048	0.0000	0.0213	
Residu HNO ₃ 80°C	%	10.5898	0.3022	14.3542	5.0011	0.0116	0.0000	0.1228	
Residu HNO ₃ 0.25 M	%	22.5228	0.0519	13.1858	13.8545	0.0044	0.0305	0.0201	
Residu HNO ₃ 0.5 M	%	21.2186	0.1232	11.5141	7.7944	0.0074	0.0000	0.0940	
Residu HNO ₃ 0.75 M	%	0.2119	0.0000	0.1951	0.2048	0.0025	0.0000	0.0253	
Residu HNO ₃ 1 M	%	0.3067	0.0000	0.2009	0.2760	0.0037	0.0000	0.0212	
Residu HNO ₃ 1.25 M	%	0.2836	0.0000	0.2021	0.2829	0.0034	0.0024	0.0229	
Residu HNO ₃ 1 : 100	%	0.2569	0.0000	0.1553	0.1656	0.0162	3.4028	0.0042	
Residu HNO ₃ 1.5 : 100	%	0.4040	0.1875	0.2745	0.3253	0.0133	2.1552	0.0062	
Residu HNO ₃ 2 : 100	%	0.4100	0.0000	0.4767	0.4069	0.0070	0.1786	0.0033	
Residu HNO ₃ 2.5 : 100	%	18.2711	0.1434	14.4286	6.7465	0.0077	0.2618	0.0967	
Residu HNO ₃ 3 : 100	%	20.1504	0.0773	19.0647	10.0683	0.0059	0.1821	0.0632	

Catatan :
 * : Laporan pengujian ini hanya berlaku untuk sampel sebagai mana tersebut diatas
 (This testreport is only valid for the test item which is stated on the above data)
 ✓ : Memenuhi (Comply)
 X : Tidak Memenuhi (Not Comply)
 * : Persyaratan pada tingkat kepercayaan 95% dengan k = 2

Cileungsi , 28 April 2022
Approved By



Head of Laboratory
(Nanda Rizky Amalia, S.T)



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1688
Result date : 8/3/2022 2:01:45 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP1
Sample reference :
Batch number : 2
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity
Dynamic measurement settings
Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 509.2
Dmean (nm) : 532.5
D10 (nm) : 409.9
D50 (nm) : 518.2
D90 (nm) : 653.5
Coefficient of variation (%) : 17.7
Polydispersity index : 0.03116
rms : 0.02213
Mean count rate (counts/s) : 1469423

Diameter	228.4	229.4	238.4	247.5	256.5	265.5	274.5	283.6	292.6	301.6
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.09
qi (%)	0.000	0.005	0.012	0.028	0.060	0.124	0.240	0.440	0.770	1.288
Diameter	310.6	319.7	328.7	337.7	346.7	355.8	364.8	373.8	382.8	391.8
Qi (%)	0.16	0.26	0.42	0.65	0.97	1.41	2.00	2.77	3.73	4.93
qi (%)	2.064	3.182	4.732	6.805	9.483	12.835	16.902	21.697	27.191	33.319
Diameter	400.9	409.9	418.9	427.9	437.0	446.0	455.0	464.0	473.1	482.1
Qi (%)	6.38	8.11	10.11	12.41	14.99	17.84	20.95	24.29	27.83	31.53
qi (%)	39.974	47.015	54.272	61.555	68.664	75.403	81.586	87.048	91.654	95.300
Diameter	491.1	500.1	509.2	518.2	527.2	536.2	545.3	554.3	563.3	572.3
Qi (%)	35.36	39.27	43.22	47.17	51.09	54.93	58.66	62.26	65.70	68.96
qi (%)	97.920	99.485	100.000	99.502	98.057	95.752	92.689	88.983	84.754	80.122
Diameter	581.3	590.4	599.4	608.4	617.4	626.5	635.5	644.5	653.5	662.6
Qi (%)	72.04	74.92	77.59	80.06	82.33	84.40	86.28	87.97	89.49	90.85
qi (%)	75.202	70.103	64.927	59.760	54.679	49.748	45.018	40.527	36.305	32.369
Diameter	671.6	680.6	689.6	698.7	707.7	716.7	725.7	734.8	743.8	752.8
Qi (%)	92.06	93.13	94.08	94.91	95.64	96.27	96.82	97.30	97.71	98.06
qi (%)	28.730	25.391	22.347	19.590	17.109	14.888	12.910	11.158	9.613	8.257
Diameter	761.8	770.8	779.9	788.9	797.9	806.9	816.0	825.0	834.0	843.0
Qi (%)	98.37	98.63	98.85	99.04	99.20	99.33	99.45	99.54	99.62	99.69
qi (%)	7.072	6.039	5.144	4.370	3.703	3.131	2.641	2.223	1.867	1.565
Diameter	852.1	861.1	870.1	879.1	888.2	897.2	906.2	915.2	924.3	933.3
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.310	1.094	0.912	0.759	0.630	0.523	0.433	0.358	0.296	0.244
Diameter	942.3	951.3	960.4	961.4						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.201	0.166	0.136	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1687
Result date : 8/3/2022 2:00:33 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP1
Sample reference :
Batch number : 2
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity
Dynamic measurement settings
Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 514.3
Dmean (nm) : 538.8
D10 (nm) : 412.2
D50 (nm) : 523.6
D90 (nm) : 662.8
Coefficient of variation (%) : 18.0
Polydispersity index : 0.03229
rms : 0.00404
Mean count rate (counts/s) : 1524891

Diameter	225.6	226.6	235.9	245.1	254.4	263.7	273.0	282.3	291.5	300.8
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05	0.09
qi (%)	0.000	0.004	0.010	0.024	0.053	0.112	0.220	0.409	0.724	1.222
Diameter	310.1	319.4	328.7	337.9	347.2	356.5	365.8	375.1	384.4	393.6
Qi (%)	0.15	0.25	0.40	0.62	0.94	1.37	1.95	2.71	3.67	4.86
qi (%)	1.976	3.069	4.593	6.640	9.295	12.628	16.683	21.473	26.970	33.109
Diameter	402.9	412.2	421.5	430.8	440.0	449.3	458.6	467.9	477.2	486.4
Qi (%)	6.30	8.02	10.02	12.30	14.88	17.73	20.84	24.17	27.71	31.41
qi (%)	39.782	46.845	54.128	61.438	68.574	75.338	81.542	87.021	91.638	95.293
Diameter	495.7	505.0	514.3	523.6	532.8	542.1	551.4	560.7	570.0	579.2
Qi (%)	35.24	39.15	43.10	47.05	50.96	54.80	58.53	62.13	65.57	68.84
qi (%)	97.918	99.485	100.000	99.502	98.058	95.753	92.694	88.993	84.772	80.148
Diameter	588.5	597.8	607.1	616.4	625.7	634.9	644.2	653.5	662.8	672.1
Qi (%)	71.91	74.79	77.47	79.94	82.21	84.28	86.16	87.86	89.39	90.75
qi (%)	75.240	70.154	64.991	59.838	54.770	49.852	45.133	40.653	36.439	32.511
Diameter	681.3	690.6	699.9	709.2	718.5	727.7	737.0	746.3	755.6	764.9
Qi (%)	91.97	93.05	94.00	94.83	95.57	96.21	96.76	97.24	97.66	98.02
qi (%)	28.877	25.540	22.497	19.740	17.257	15.032	13.049	11.291	9.740	8.376
Diameter	774.1	783.4	792.7	802.0	811.3	820.5	829.8	839.1	848.4	857.7
Qi (%)	98.33	98.59	98.82	99.01	99.17	99.31	99.43	99.53	99.61	99.68
qi (%)	7.183	6.143	5.240	4.458	3.784	3.205	2.708	2.283	1.921	1.613
Diameter	867.0	876.2	885.5	894.8	904.1	913.4	922.6	931.9	941.2	950.5
Qi (%)	99.74	99.79	99.83	99.86	99.89	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.352	1.132	0.945	0.788	0.656	0.546	0.453	0.376	0.311	0.257
Diameter	959.8	969.0	978.3	979.3						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.212	0.175	0.144	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1686
Result date : 8/3/2022 1:59:22 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP1
Sample reference :
Batch number : 2
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%v) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 508.5
Dmean (nm) : 531.9
D10 (nm) : 409.1
D50 (nm) : 517.5
D90 (nm) : 653.0
Coefficient of variation (%) : 17.7
Polydispersity index : 0.03130
rms : 0.00487
Mean count rate (counts/s) : 1534104

Diameter	227.4	228.4	237.5	246.5	255.5	264.6	273.6	282.6	291.7	300.7
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.09
qi (%)	0.000	0.005	0.012	0.027	0.059	0.122	0.237	0.437	0.765	1.280
Diameter	309.7	318.8	327.8	336.8	345.9	354.9	363.9	373.0	382.0	391.0
Qi (%)	0.16	0.26	0.42	0.64	0.97	1.41	2.00	2.76	3.73	4.92
qi (%)	2.053	3.168	4.715	6.785	9.460	12.810	16.876	21.670	27.165	33.294
Diameter	400.1	409.1	418.1	427.2	436.2	445.2	454.3	463.3	472.3	481.4
Qi (%)	6.37	8.10	10.10	12.40	14.97	17.83	20.94	24.28	27.82	31.52
qi (%)	39.951	46.995	54.255	61.540	68.653	75.395	81.581	87.045	91.652	95.299
Diameter	490.4	499.4	508.5	517.5	526.5	535.6	544.6	553.6	562.7	571.7
Qi (%)	35.35	39.26	43.21	47.16	51.07	54.91	58.64	62.24	65.68	68.95
qi (%)	97.920	99.485	100.000	99.502	98.057	95.752	92.690	88.985	84.756	80.125
Diameter	580.7	589.8	598.8	607.8	616.9	625.9	634.9	644.0	653.0	662.0
Qi (%)	72.03	74.90	77.58	80.05	82.32	84.38	86.26	87.96	89.48	90.84
qi (%)	75.206	70.110	64.935	59.769	54.690	49.761	45.032	40.542	36.321	32.387
Diameter	671.0	680.1	689.1	698.1	707.2	716.2	725.2	734.3	743.3	752.3
Qi (%)	92.05	93.12	94.07	94.90	95.63	96.26	96.81	97.29	97.70	98.06
qi (%)	28.748	25.409	22.365	19.609	17.127	14.906	12.927	11.175	9.629	8.272
Diameter	761.4	770.4	779.4	788.5	797.5	806.5	815.6	824.6	833.6	842.7
Qi (%)	98.36	98.62	98.84	99.03	99.19	99.33	99.44	99.54	99.62	99.69
qi (%)	7.085	6.052	5.156	4.381	3.713	3.140	2.649	2.230	1.874	1.571
Diameter	851.7	860.7	869.8	878.8	887.8	896.9	905.9	914.9	924.0	933.0
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.315	1.098	0.916	0.762	0.634	0.526	0.436	0.360	0.298	0.246
Diameter	942.0	951.1	960.1	961.1						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.203	0.167	0.137	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1729
Result date : 8/3/2022 4:19:48 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP8
Sample reference :
Batch number : 1
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity
Dynamic measurement settings
Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 301.7
Dmean (nm) : 313.4
D10 (nm) : 246.9
D50 (nm) : 306.7
D90 (nm) : 381.3
Coefficient of variation (%) : 16.4
Polydispersity index : 0.02703
rms : 0.00145
Mean count rate (counts/s) : 2125836

Diameter	141.4	142.4	147.3	152.3	157.3	162.3	167.2	172.2	177.2	182.2
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07
qi (%)	0.000	0.005	0.011	0.025	0.052	0.104	0.197	0.356	0.615	1.022
Diameter	187.2	192.1	197.1	202.1	207.1	212.1	217.0	222.0	227.0	232.0
Qi (%)	0.13	0.21	0.33	0.52	0.78	1.13	1.61	2.25	3.05	4.07
qi (%)	1.634	2.520	3.760	5.435	7.628	10.413	13.848	17.970	22.782	28.257
Diameter	237.0	241.9	246.9	251.9	256.9	261.8	266.8	271.8	276.8	281.8
Qi (%)	5.31	6.80	8.56	10.60	12.92	15.52	18.39	21.52	24.87	28.41
qi (%)	34.330	40.899	47.830	54.961	62.112	69.094	75.716	81.798	87.180	91.727
Diameter	286.7	291.7	296.7	301.7	306.7	311.6	316.6	321.6	326.6	331.6
Qi (%)	32.12	35.96	39.87	43.83	47.78	51.70	55.54	59.28	62.88	66.32
qi (%)	95.334	97.932	99.487	100.000	99.503	98.056	95.743	92.665	88.933	84.667
Diameter	336.5	341.5	346.5	351.5	356.4	361.4	366.4	371.4	376.4	381.3
Qi (%)	69.59	72.66	75.54	78.20	80.66	82.91	84.97	86.82	88.50	89.99
qi (%)	79.987	75.011	69.851	64.607	59.372	54.224	49.229	44.440	39.899	35.634
Diameter	386.3	391.3	396.3	401.3	406.2	411.2	416.2	421.2	426.2	431.1
Qi (%)	91.33	92.51	93.56	94.47	95.28	95.97	96.58	97.10	97.55	97.94
qi (%)	31.666	28.004	24.651	21.603	18.852	16.383	14.182	12.230	10.508	8.997
Diameter	436.1	441.1	446.1	451.0	456.0	461.0	466.0	471.0	475.9	480.9
Qi (%)	98.27	98.55	98.79	99.00	99.17	99.31	99.43	99.53	99.62	99.69
qi (%)	7.678	6.530	5.537	4.681	3.946	3.317	2.781	2.326	1.940	1.614
Diameter	485.9	490.9	495.9	500.8	505.8	510.8	515.8	520.8	525.7	530.7
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.96	99.98
qi (%)	1.340	1.110	0.918	0.757	0.624	0.512	0.420	0.344	0.281	0.230
Diameter	535.7	540.7	545.6	550.6	551.6					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.187	0.152	0.124	0.100	0.000					



Nano DS SN 107

Analysis report

Result Id : 1689
Result date : 8/3/2022 2:20:34 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP3
Sample reference :
Batch number : 1
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 363.6
Dmean (nm) : 381.8
D10 (nm) : 295.8
D50 (nm) : 370.4
D90 (nm) : 472.1
Coefficient of variation (%) : 18.6
Polydispersity index : 0.03443
rms : 0.00480
Mean count rate (counts/s) : 1368102

Diameter	152.3	153.3	160.1	166.9	173.7	180.5	187.2	194.0	200.8	207.6
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
qi (%)	0.000	0.003	0.009	0.021	0.048	0.102	0.203	0.383	0.684	1.166
Diameter	214.4	221.2	227.9	234.7	241.5	248.3	255.1	261.8	268.6	275.4
Qi (%)	0.14	0.24	0.39	0.60	0.91	1.34	1.91	2.66	3.61	4.79
qi (%)	1.900	2.971	4.471	6.494	9.128	12.444	16.488	21.273	26.773	32.921
Diameter	282.2	289.0	295.8	302.5	309.3	316.1	322.9	329.7	336.4	343.2
Qi (%)	6.23	7.94	9.93	12.21	14.78	17.63	20.73	24.07	27.61	31.31
qi (%)	39.610	46.694	54.000	61.334	68.494	75.279	81.502	86.996	91.625	95.286
Diameter	350.0	356.8	363.6	370.4	377.1	383.9	390.7	397.5	404.3	411.1
Qi (%)	35.13	39.04	42.99	46.94	50.85	54.69	58.42	62.02	65.46	68.72
qi (%)	97.915	99.484	100.000	99.502	98.058	95.755	92.698	89.002	84.787	80.172
Diameter	417.8	424.6	431.4	438.2	445.0	451.7	458.5	465.3	472.1	478.9
Qi (%)	71.80	74.68	77.36	79.83	82.10	84.18	86.06	87.77	89.30	90.67
qi (%)	75.273	70.198	65.047	59.906	54.851	49.944	45.235	40.764	36.558	32.636
Diameter	485.7	492.4	499.2	506.0	512.8	519.6	526.3	533.1	539.9	546.7
Qi (%)	91.89	92.97	93.93	94.77	95.50	96.15	96.71	97.20	97.62	97.98
qi (%)	29.006	25.672	22.630	19.872	17.387	15.159	13.172	11.409	9.852	8.483
Diameter	553.5	560.3	567.0	573.8	580.6	587.4	594.2	600.9	607.7	614.5
Qi (%)	98.29	98.56	98.79	98.98	99.15	99.29	99.41	99.51	99.60	99.67
qi (%)	7.283	6.236	5.326	4.537	3.857	3.271	2.768	2.337	1.970	1.657
Diameter	621.3	628.1	634.9	641.6	648.4	655.2	662.0	668.8	675.5	682.3
Qi (%)	99.73	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.98
qi (%)	1.391	1.166	0.976	0.815	0.680	0.566	0.471	0.391	0.325	0.269
Diameter	689.1	695.9	702.7	709.5						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.223	0.184	0.152	0.000						



Nano DS SN 107

Analysis report

Result Id : 1691
Result date : 8/3/2022 2:22:58 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP3
Sample reference :
Batch number : 1
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 377.4
Dmean (nm) : 395.4
D10 (nm) : 301.9
D50 (nm) : 384.3
D90 (nm) : 487.2
Coefficient of variation (%) : 18.1
Polydispersity index : 0.03273
rms : 0.00379
Mean count rate (counts/s) : 1380088

Diameter	163.7	164.7	171.6	178.4	185.3	192.2	199.0	205.9	212.7	219.6
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.09
qi (%)	0.000	0.004	0.011	0.025	0.056	0.117	0.228	0.422	0.743	1.250
Diameter	226.5	233.3	240.2	247.0	253.9	260.8	267.6	274.5	281.3	288.2
Qi (%)	0.15	0.25	0.41	0.63	0.95	1.39	1.97	2.73	3.70	4.89
qi (%)	2.013	3.117	4.651	6.709	9.374	12.715	16.776	21.567	27.064	33.198
Diameter	295.1	301.9	308.8	315.6	322.5	329.4	336.2	343.1	350.0	356.8
Qi (%)	6.34	8.06	10.06	12.35	14.92	17.78	20.88	24.22	27.76	31.46
qi (%)	39.863	46.917	54.189	61.487	68.612	75.365	81.560	87.032	91.645	95.296
Diameter	363.7	370.5	377.4	384.3	391.1	398.0	404.8	411.7	418.6	425.4
Qi (%)	35.29	39.20	43.15	47.10	51.01	54.85	58.58	62.18	65.62	68.89
qi (%)	97.919	99.485	100.000	99.502	98.057	95.753	92.692	88.989	84.764	80.137
Diameter	432.3	439.1	446.0	452.9	459.7	466.6	473.5	480.3	487.2	494.0
Qi (%)	71.97	74.85	77.52	79.99	82.26	84.33	86.21	87.91	89.43	90.79
qi (%)	75.224	70.133	64.964	59.805	54.732	49.808	45.085	40.600	36.383	32.451
Diameter	500.9	507.8	514.6	521.5	528.3	535.2	542.1	548.9	555.8	562.6
Qi (%)	92.01	93.08	94.03	94.87	95.60	96.23	96.79	97.27	97.68	98.04
qi (%)	28.815	25.477	22.434	19.677	17.194	14.971	12.991	11.235	9.687	8.326
Diameter	569.5	576.4	583.2	590.1	596.9	603.8	610.7	617.5	624.4	631.3
Qi (%)	98.34	98.61	98.83	99.02	99.18	99.32	99.44	99.53	99.62	99.68
qi (%)	7.136	6.099	5.199	4.421	3.750	3.173	2.680	2.258	1.898	1.593
Diameter	638.1	645.0	651.8	658.7	665.6	672.4	679.3	686.1	693.0	699.9
Qi (%)	99.74	99.79	99.83	99.87	99.89	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.334	1.116	0.931	0.776	0.645	0.536	0.445	0.368	0.305	0.252
Diameter	706.7	713.6	720.4	727.4						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.208	0.171	0.141	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1690
Result date : 8/3/2022 2:21:46 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters SOP name : SOP DLS xxx Result name : FASP3 Sample reference : Batch number : 1 Customer name : Material : NMC Solvent : Water Concentration (%w) : 0.01 Density (g.cm ⁻³) : 1.31	Measurement settings Solvent temperature (°C) : 25.0 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891 Distribution : intensity Dynamic measurement settings Integration time (s) : 60 Angle (°) : 90 Algorithm : Cumulant
--	---

Result data	
Dmode (nm) :	356.1
Dmean (nm) :	372.4
D10 (nm) :	286.2
D50 (nm) :	362.4
D90 (nm) :	457.7
Coefficient of variation (%) :	17.8
Polvdispersity index :	0.03155
rms :	0.00180
Mean count rate (counts/s) :	1389720

Diameter	158.1	159.1	165.5	171.8	178.2	184.5	190.9	197.2	203.6	209.9
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10
qi (%)	0.000	0.005	0.013	0.030	0.064	0.131	0.251	0.458	0.797	1.325
Diameter	216.3	222.6	229.0	235.3	241.7	248.1	254.4	260.8	267.1	273.5
Qi (%)	0.16	0.27	0.43	0.66	0.99	1.43	2.03	2.80	3.77	4.97
qi (%)	2.114	3.246	4.810	6.897	9.588	12.950	17.024	21.821	27.314	33.435
Diameter	279.8	286.2	292.5	298.9	305.2	311.6	317.9	324.3	330.7	337.0
Qi (%)	6.43	8.16	10.17	12.47	15.05	17.90	21.01	24.36	27.90	31.60
qi (%)	40.081	47.109	54.351	61.619	68.714	75.439	81.610	87.063	91.662	95.304
Diameter	343.4	349.7	356.1	362.4	368.8	375.1	381.5	387.8	394.2	400.6
Qi (%)	35.43	39.34	43.29	47.24	51.16	55.00	58.73	62.33	65.77	69.04
qi (%)	97.922	99.485	100.000	99.503	98.057	95.751	92.686	88.978	84.745	80.107
Diameter	406.9	413.3	419.6	426.0	432.3	438.7	445.0	451.4	457.7	464.1
Qi (%)	72.11	74.99	77.66	80.13	82.40	84.46	86.34	88.03	89.55	90.91
qi (%)	75.180	70.075	64.891	59.717	54.628	49.690	44.953	40.457	36.230	32.290
Diameter	470.4	476.8	483.2	489.5	495.9	502.2	508.6	514.9	521.3	527.6
Qi (%)	92.11	93.18	94.12	94.95	95.68	96.31	96.85	97.33	97.74	98.09
qi (%)	28.649	25.308	22.263	19.507	17.027	14.808	12.833	11.084	9.543	8.191
Diameter	534.0	540.3	546.7	553.0	559.4	565.8	572.1	578.5	584.8	591.2
Qi (%)	98.39	98.65	98.87	99.05	99.21	99.34	99.46	99.55	99.63	99.70
qi (%)	7.010	5.982	5.091	4.321	3.659	3.090	2.604	2.190	1.838	1.539
Diameter	597.5	603.9	610.2	616.6	622.9	629.3	635.6	642.0	648.4	654.7
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.96	99.97	99.98
qi (%)	1.286	1.073	0.893	0.743	0.616	0.511	0.422	0.349	0.288	0.237
Diameter	661.1	667.4	673.8	674.8						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.195	0.160	0.132	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1701
Result date : 8/3/2022 2:51:02 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters SOP name : SOP DLS xxx Result name : FASP5 Sample reference : Batch number : 2 Customer name : Material : NMC Solvent : Water Concentration (%w) : 0.01 Density (g.cm ⁻³) : 1.31	Measurement settings Solvent temperature (°C) : 25.0 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891 Distribution : intensity Dynamic measurement settings Integration time (s) : 60 Angle (°) : 90 Algorithm : Cumulant
---	---

Result data	
Dmode (nm) :	506.3
Dmean (nm) :	531.3
D10 (nm) :	413.1
D50 (nm) :	515.6
D90 (nm) :	655.3
Coefficient of variation (%) :	18.3
Polvdispersity index :	0.03353
rms :	0.00673
Mean count rate (counts/s) :	1544525

Diameter	216.6	217.6	226.9	236.2	245.5	254.8	264.1	273.5	282.8	292.1
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
qi (%)	0.000	0.003	0.008	0.021	0.047	0.100	0.201	0.379	0.679	1.159
Diameter	301.4	310.7	320.0	329.3	338.6	348.0	357.3	366.6	375.9	385.2
Qi (%)	0.14	0.24	0.38	0.60	0.91	1.33	1.91	2.65	3.60	4.78
qi (%)	1.890	2.958	4.455	6.475	9.106	12.420	16.462	21.247	26.747	32.897
Diameter	394.5	403.8	413.1	422.5	431.8	441.1	450.4	459.7	469.0	478.3
Qi (%)	6.22	7.93	9.92	12.20	14.77	17.62	20.72	24.06	27.59	31.29
qi (%)	39.587	46.674	53.983	61.320	68.483	75.272	81.497	86.993	91.623	95.285
Diameter	487.6	497.0	506.3	515.6	524.9	534.2	543.5	552.8	562.1	571.5
Qi (%)	35.12	39.03	42.98	46.92	50.84	54.67	58.40	62.00	65.44	68.71
qi (%)	97.915	99.484	100.000	99.502	98.058	95.755	92.698	89.003	84.789	80.175
Diameter	580.8	590.1	599.4	608.7	618.0	627.3	636.7	646.0	655.3	664.6
Qi (%)	71.79	74.67	77.34	79.82	82.09	84.16	86.05	87.75	89.28	90.65
qi (%)	75.277	70.204	65.054	59.915	54.861	49.956	45.249	40.779	36.574	32.652
Diameter	673.9	683.2	692.5	701.8	711.2	720.5	729.8	739.1	748.4	757.7
Qi (%)	91.88	92.96	93.92	94.76	95.50	96.14	96.70	97.19	97.61	97.97
qi (%)	29.023	25.689	22.648	19.890	17.404	15.176	13.189	11.425	9.867	8.497
Diameter	767.0	776.3	785.7	795.0	804.3	813.6	822.9	832.2	841.5	850.8
Qi (%)	98.29	98.56	98.78	98.98	99.15	99.29	99.41	99.51	99.60	99.67
qi (%)	7.296	6.248	5.337	4.548	3.866	3.279	2.775	2.344	1.976	1.663
Diameter	860.2	869.5	878.8	888.1	897.4	906.7	916.0	925.3	934.7	944.0
Qi (%)	99.73	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.98
qi (%)	1.396	1.171	0.980	0.819	0.683	0.569	0.474	0.393	0.327	0.271
Diameter	953.3	962.6	971.9	972.9						
Qi (%)	99.99	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.224	0.185	0.153	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1702
Result date : 8/3/2022 2:52:13 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters SOP name : SOP DLS xxx Result name : FASP5 Sample reference : Batch number : 2 Customer name : Material : NMC Solvent : Water Concentration (%w) : 0.01 Density (g.cm ⁻³) : 1.31	Measurement settings Solvent temperature (°C) : 25.0 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891 Distribution : intensity Dynamic measurement settings Integration time (s) : 60 Angle (°) : 90 Algorithm : Cumulant
---	--

Result data	
Dmode (nm) :	544.3
Dmean (nm) :	572.7
D10 (nm) :	441.8
D50 (nm) :	554.6
D90 (nm) :	708.4
Coefficient of variation (%) :	18.8
Polvdispersity index :	0.03517
rms :	0.01097
Mean count rate (counts/s) :	1597815

Diameter	235.6	236.6	246.9	257.1	267.4	277.7	287.9	298.2	308.4	318.7
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07	0.13
qi (%)	0.000	0.006	0.016	0.038	0.085	0.174	0.336	0.613	1.063	1.760
Diameter	328.9	339.2	349.4	359.7	370.0	380.2	390.5	400.7	411.0	421.2
Qi (%)	0.22	0.36	0.56	0.86	1.27	1.83	2.57	3.50	4.67	6.09
qi (%)	2.788	4.242	6.221	8.814	12.097	16.118	20.894	26.398	32.564	39.281
Diameter	431.5	441.8	452.0	462.3	472.5	482.8	493.0	503.3	513.5	523.8
Qi (%)	7.79	9.77	12.04	14.60	17.44	20.54	23.87	27.41	31.11	34.93
qi (%)	46.404	53.754	61.135	68.341	75.168	81.426	86.948	91.598	95.274	97.911
Diameter	534.1	544.3	554.6	564.8	575.1	585.3	595.6	605.9	616.1	626.4
Qi (%)	38.84	42.78	46.73	50.64	54.48	58.21	61.80	65.24	68.51	71.59
qi (%)	99.483	100.000	99.502	98.058	95.757	92.706	89.018	84.815	80.216	75.335
Diameter	636.6	646.9	657.1	667.4	677.6	687.9	698.2	708.4	718.7	728.9
Qi (%)	74.47	77.15	79.63	81.90	83.98	85.87	87.58	89.12	90.50	91.73
qi (%)	70.282	65.152	60.034	55.001	50.116	45.427	40.973	36.782	32.870	29.249
Diameter	739.2	749.4	759.7	770.0	780.2	790.5	800.7	811.0	821.2	831.5
Qi (%)	92.82	93.79	94.64	95.38	96.04	96.61	97.10	97.53	97.90	98.22
qi (%)	25.920	22.881	20.122	17.633	15.400	13.405	11.633	10.065	8.684	7.472
Diameter	841.8	852.0	862.3	872.5	882.8	893.0	903.3	913.5	923.8	934.1
Qi (%)	98.50	98.73	98.94	99.11	99.25	99.38	99.48	99.57	99.65	99.71
qi (%)	6.412	5.489	4.688	3.995	3.397	2.882	2.441	2.063	1.741	1.466
Diameter	944.3	954.6	964.8	975.1	985.3	995.6	1005.9	1016.1	1026.4	1036.6
Qi (%)	99.76	99.81	99.85	99.88	99.90	99.93	99.95	99.96	99.97	99.98
qi (%)	1.233	1.035	0.867	0.726	0.607	0.507	0.422	0.352	0.293	0.243
Diameter	1046.9	1057.1	1058.1							
Qi (%)	99.99	100.00	100.00							
qi (%)	0.202	0.167	0.000							



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1699
Result date : 8/3/2022 2:47:18 PM

Print date : 8/4/2022

SOP parameters SOP name : SOP DLS xxx Result name : FASP5 Sample reference : Batch number : 1 Customer name : Material : NMC Solvent : Water Concentration (%w) : 0.01 Density (g.cm ⁻³) : 1.31	Measurement settings Solvent temperature (°C) : 25.0 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891 Distribution : intensity Dynamic measurement settings Integration time (s) : 60 Angle (°) : 90 Algorithm : Cumulant
--	--

Result data	
Dmode (nm) :	523.5
Dmean (nm) :	549.6
D10 (nm) :	426.9
D50 (nm) :	533.1
D90 (nm) :	678.0
Coefficient of variation (%) :	18.4
Polvdispersity index :	0.03374
rms :	0.00904
Mean count rate (counts/s) :	1576933

Diameter	223.0	224.0	233.7	243.4	253.0	262.7	272.3	282.0	291.7	301.3
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
qi (%)	0.000	0.003	0.008	0.020	0.046	0.098	0.196	0.372	0.668	1.142
Diameter	311.0	320.6	330.3	340.0	349.6	359.3	368.9	378.6	388.3	397.9
Qi (%)	0.14	0.23	0.38	0.59	0.90	1.32	1.89	2.64	3.59	4.76
qi (%)	1.867	2.928	4.418	6.431	9.056	12.364	16.403	21.186	26.688	32.840
Diameter	407.6	417.2	426.9	436.5	446.2	455.9	465.5	475.2	484.8	494.5
Qi (%)	6.20	7.90	9.89	12.17	14.74	17.59	20.69	24.03	27.56	31.26
qi (%)	39.535	46.627	53.943	61.289	68.459	75.254	81.485	86.985	91.619	95.283
Diameter	504.2	513.8	523.5	533.1	542.8	552.5	562.1	571.8	581.4	591.1
Qi (%)	35.09	38.99	42.94	46.89	50.80	54.64	58.37	61.97	65.41	68.67
qi (%)	97.914	99.484	100.000	99.502	98.058	95.755	92.700	89.006	84.793	80.182
Diameter	600.8	610.4	620.1	629.7	639.4	649.1	658.7	668.4	678.0	687.7
Qi (%)	71.75	74.63	77.31	79.78	82.06	84.13	86.02	87.72	89.26	90.63
qi (%)	75.287	70.218	65.071	59.935	54.885	49.983	45.279	40.812	36.610	32.690
Diameter	697.3	707.0	716.7	726.3	736.0	745.6	755.3	765.0	774.6	784.3
Qi (%)	91.85	92.93	93.89	94.74	95.48	96.12	96.69	97.17	97.60	97.96
qi (%)	29.062	25.729	22.688	19.930	17.444	15.214	13.226	11.461	9.901	8.529
Diameter	793.9	803.6	813.3	822.9	832.6	842.2	851.9	861.6	871.2	880.9
Qi (%)	98.28	98.55	98.78	98.97	99.14	99.28	99.40	99.51	99.59	99.66
qi (%)	7.326	6.276	5.363	4.572	3.888	3.299	2.794	2.361	1.991	1.676
Diameter	890.5	900.2	909.8	919.5	929.2	938.8	948.5	958.1	967.8	977.5
Qi (%)	99.73	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.98
qi (%)	1.408	1.181	0.989	0.827	0.690	0.576	0.479	0.398	0.331	0.274
Diameter	987.1	996.8	1006.4	1007.4						
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00						
qi (%)	0.227	0.188	0.155	0.000						



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1707
Result date : 8/3/2022 3:22:54 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters		Measurement settings	
SOP name :	SOP DLS xxx	Solvent temperature (°C) :	25.0
Result name :	FASP7	Solvent viscosity (mPa.s) :	0.891
Sample reference :		Distribution :	intensity
Batch number :	2	Dynamic measurement settings	
Customer name :		Integration time (s) :	60
Material :	NMC	Angle (°) :	90
Solvent :	Water	Algorithm :	Cumulant
Concentration (%v) :	0.01		
Density (g.cm ⁻³) :	1.31		

Result data	
Dmode (nm) :	290.1
Dmean (nm) :	301.1
D10 (nm) :	237.9
D50 (nm) :	294.8
D90 (nm) :	361.2
Coefficient of variation (%) :	16.3
Polvdispersity index :	0.02651
rms :	0.00146
Mean count rate (counts/s) :	2789557

Diameter	137.4	138.4	143.1	147.9	152.6	157.3	162.1	166.8	171.6	176.3
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
qi (%)	0.000	0.005	0.012	0.027	0.056	0.110	0.207	0.371	0.638	1.053
Diameter	181.0	185.8	190.5	195.3	200.0	204.7	209.5	214.2	219.0	223.7
Qi (%)	0.13	0.22	0.34	0.53	0.79	1.15	1.64	2.27	3.09	4.10
qi (%)	1.676	2.575	3.828	5.517	7.723	10.520	13.964	18.091	22.905	28.377
Diameter	228.4	233.2	237.9	242.7	247.4	252.1	256.9	261.6	266.4	271.1
Qi (%)	5.35	6.85	8.61	10.65	12.98	15.58	18.46	21.58	24.93	28.48
qi (%)	34.444	41.003	47.921	55.038	62.174	69.142	75.751	81.822	87.195	91.735
Diameter	275.8	280.6	285.3	290.1	294.8	299.6	304.3	309.0	313.8	318.5
Qi (%)	32.19	36.02	39.94	43.90	47.85	51.77	55.62	59.35	62.95	66.40
qi (%)	95.338	97.933	99.487	100.000	99.503	98.056	95.742	92.662	88.927	84.657
Diameter	323.3	328.0	332.7	337.5	342.2	347.0	351.7	356.4	361.2	365.9
Qi (%)	69.66	72.73	75.61	78.27	80.73	82.98	85.03	86.89	88.56	90.05
qi (%)	79.972	74.989	69.821	64.570	59.327	54.171	49.169	44.373	39.826	35.557
Diameter	370.7	375.4	380.1	384.9	389.6	394.4	399.1	403.8	408.6	413.3
Qi (%)	91.38	92.56	93.60	94.52	95.32	96.01	96.61	97.14	97.58	97.97
qi (%)	31.585	27.920	24.566	21.518	18.767	16.300	14.101	12.152	10.434	8.927
Diameter	418.1	422.8	427.6	432.3	437.0	441.8	446.5	451.3	456.0	460.7
Qi (%)	98.30	98.57	98.81	99.01	99.18	99.32	99.44	99.54	99.63	99.70
qi (%)	7.612	6.469	5.481	4.629	3.899	3.274	2.742	2.291	1.909	1.587
Diameter	465.5	470.2	475.0	479.7	484.4	489.2	493.9	498.7	503.4	508.1
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.316	1.089	0.899	0.741	0.609	0.500	0.410	0.335	0.273	0.223
Diameter	512.9	517.6	522.4	527.1	528.1					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.181	0.147	0.120	0.097	0.000					



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1708
Result date : 8/3/2022 3:24:05 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters		Measurement settings	
SOP name :	SOP DLS xxx	Solvent temperature (°C) :	25.0
Result name :	FASP7	Solvent viscosity (mPa.s) :	0.891
Sample reference :		Distribution :	intensity
Batch number :	2	Dynamic measurement settings	
Customer name :		Integration time (s) :	60
Material :	NMC	Angle (°) :	90
Solvent :	Water	Algorithm :	Cumulant
Concentration (%v) :	0.01		
Density (g.cm ⁻³) :	1.31		

Result data	
Dmode (nm) :	294.6
Dmean (nm) :	304.3
D10 (nm) :	245.4
D50 (nm) :	299.1
D90 (nm) :	361.7
Coefficient of variation (%) :	15.1
Polvdispersity index :	0.02293
rms :	0.00920
Mean count rate (counts/s) :	2753356

Diameter	145.9	146.9	151.4	155.9	160.4	164.8	169.3	173.8	178.3	182.7
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06
qi (%)	0.000	0.004	0.009	0.020	0.041	0.081	0.152	0.273	0.472	0.783
Diameter	187.2	191.7	196.2	200.6	205.1	209.6	214.1	218.5	223.0	227.5
Qi (%)	0.10	0.16	0.26	0.40	0.60	0.89	1.27	1.79	2.45	3.29
qi (%)	1.255	1.944	2.918	4.251	6.021	8.304	11.167	14.661	18.818	23.639
Diameter	232.0	236.4	240.9	245.4	249.9	254.3	258.8	263.3	267.8	272.2
Qi (%)	4.34	5.62	7.14	8.93	10.99	13.33	15.95	18.84	21.97	25.33
qi (%)	29.095	35.121	41.620	48.463	55.496	62.545	69.427	75.958	81.963	87.283
Diameter	276.7	281.2	285.6	290.1	294.6	299.1	303.5	308.0	312.5	317.0
Qi (%)	28.89	32.60	36.44	40.36	44.32	48.27	52.20	56.04	59.78	63.38
qi (%)	91.784	95.360	97.941	99.489	100.000	99.503	98.055	95.736	92.644	88.890
Diameter	321.4	325.9	330.4	334.9	339.3	343.8	348.3	352.8	357.2	361.7
Qi (%)	66.83	70.09	73.16	76.03	78.69	81.14	83.38	85.42	87.26	88.91
qi (%)	84.594	79.875	74.853	69.641	64.342	59.051	53.847	48.800	43.964	39.381
Diameter	366.2	370.7	375.1	379.6	384.1	388.6	393.0	397.5	402.0	406.5
Qi (%)	90.39	91.70	92.87	93.89	94.78	95.56	96.24	96.82	97.32	97.75
qi (%)	35.083	31.088	27.409	24.046	20.997	18.251	15.795	13.612	11.682	9.987
Diameter	410.9	415.4	419.9	424.4	428.8	433.3	437.8	442.3	446.7	451.2
Qi (%)	98.12	98.43	98.69	98.92	99.11	99.26	99.40	99.51	99.60	99.67
qi (%)	8.506	7.218	6.103	5.143	4.320	3.617	3.020	2.513	2.086	1.726
Diameter	455.7	460.1	464.6	469.1	473.6	478.0	482.5	487.0	491.5	495.9
Qi (%)	99.73	99.79	99.83	99.86	99.89	99.92	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.425	1.173	0.964	0.790	0.646	0.527	0.429	0.348	0.282	0.228
Diameter	500.4	504.9	509.4	513.8	518.3	519.3				
Qi (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00				
qi (%)	0.184	0.149	0.120	0.096	0.077	0.000				



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1709
Result date : 8/3/2022 3:25:17 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters		Measurement settings	
SOP name :	SOP DLS xxx	Solvent temperature (°C) :	25.0
Result name :	FASP7	Solvent viscosity (mPa.s) :	0.891
Sample reference :		Distribution :	intensity
Batch number :	2	Dynamic measurement settings	
Customer name :		Integration time (s) :	60
Material :	NMC	Angle (°) :	90
Solvent :	Water	Algorithm :	Cumulant
Concentration (%w) :	0.01		
Density (g.cm ⁻³) :	1.31		

Result data	
Dmode (nm) :	285.1
Dmean (nm) :	294.7
D10 (nm) :	236.9
D50 (nm) :	289.5
D90 (nm) :	351.0
Coefficient of variation (%) :	15.3
Polvdispersity index :	0.02354
rms :	0.00202
Mean count rate (counts/s) :	2790026

Diameter	139.3	140.3	144.7	149.1	153.5	157.9	162.2	166.6	171.0	175.4
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06
qi (%)	0.000	0.004	0.008	0.019	0.039	0.077	0.145	0.262	0.455	0.759
Diameter	179.8	184.2	188.6	193.0	197.4	201.7	206.1	210.5	214.9	219.3
Qi (%)	0.09	0.16	0.25	0.39	0.59	0.87	1.25	1.76	2.42	3.26
qi (%)	1.221	1.900	2.862	4.183	5.940	8.211	11.064	14.551	18.703	23.523
Diameter	223.7	228.1	232.5	236.9	241.2	245.6	250.0	254.4	258.8	263.2
Qi (%)	4.30	5.57	7.09	8.88	10.94	13.28	15.89	18.78	21.91	25.27
qi (%)	28.981	35.014	41.523	48.378	55.424	62.487	69.382	75.925	81.941	87.269
Diameter	267.6	272.0	276.3	280.7	285.1	289.5	293.9	298.3	302.7	307.1
Qi (%)	28.82	32.54	36.37	40.29	44.25	48.21	52.13	55.97	59.71	63.32
qi (%)	91.776	95.357	97.940	99.489	100.000	99.503	98.055	95.737	92.647	88.896
Diameter	311.5	315.8	320.2	324.6	329.0	333.4	337.8	342.2	346.6	351.0
Qi (%)	66.76	70.02	73.10	75.96	78.62	81.07	83.32	85.36	87.20	88.86
qi (%)	84.604	79.891	74.875	69.670	64.379	59.095	53.899	48.859	44.029	39.452
Diameter	355.3	359.7	364.1	368.5	372.9	377.3	381.7	386.1	390.5	394.8
Qi (%)	90.34	91.65	92.82	93.84	94.74	95.52	96.20	96.79	97.29	97.73
qi (%)	35.158	31.168	27.490	24.129	21.080	18.333	15.875	13.689	11.757	10.058
Diameter	399.2	403.6	408.0	412.4	416.8	421.2	425.6	430.0	434.3	438.7
Qi (%)	98.09	98.41	98.68	98.90	99.09	99.25	99.38	99.50	99.59	99.66
qi (%)	8.573	7.280	6.161	5.196	4.369	3.661	3.059	2.549	2.118	1.755
Diameter	443.1	447.5	451.9	456.3	460.7	465.1	469.5	473.8	478.2	482.6
Qi (%)	99.73	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.450	1.195	0.983	0.807	0.660	0.539	0.439	0.357	0.290	0.235
Diameter	487.0	491.4	495.8	500.2	504.6	505.6				
Qi (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00				
qi (%)	0.190	0.154	0.124	0.100	0.080	0.000				



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1712
Result date : 8/3/2022 3:39:09 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP2
Sample reference :
Batch number : 1
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%v) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 266.2
Dmean (nm) : 275.4
D10 (nm) : 220.5
D50 (nm) : 270.4
D90 (nm) : 328.6
Coefficient of variation (%) : 15.6
Polydispersity index : 0.02421
rms : 0.00283
Mean count rate (counts/s) : 876243

Diameter	128.0	129.0	133.2	137.4	141.5	145.7	149.8	154.0	158.1	162.3
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05
qi (%)	0.000	0.003	0.008	0.017	0.036	0.073	0.138	0.251	0.438	0.736
Diameter	166.5	170.6	174.8	178.9	183.1	187.2	191.4	195.6	199.7	203.9
Qi (%)	0.09	0.15	0.24	0.38	0.58	0.86	1.24	1.74	2.40	3.23
qi (%)	1.190	1.858	2.809	4.117	5.863	8.122	10.965	14.444	18.592	23.411
Diameter	208.0	212.2	216.3	220.5	224.6	228.8	233.0	237.1	241.3	245.4
Qi (%)	4.27	5.53	7.05	8.83	10.88	13.22	15.84	18.72	21.85	25.21
qi (%)	28.872	34.911	41.429	48.295	55.354	62.430	69.339	75.894	81.919	87.256
Diameter	249.6	253.7	257.9	262.1	266.2	270.4	274.5	278.7	282.8	287.0
Qi (%)	28.76	32.47	36.31	40.23	44.18	48.14	52.06	55.91	59.65	63.25
qi (%)	91.769	95.353	97.939	99.488	100.000	99.503	98.056	95.738	92.650	88.902
Diameter	291.2	295.3	299.5	303.6	307.8	311.9	316.1	320.3	324.4	328.6
Qi (%)	66.69	69.96	73.03	75.90	78.56	81.01	83.26	85.30	87.14	88.80
qi (%)	84.614	79.905	74.896	69.697	64.414	59.137	53.949	48.916	44.092	39.521
Diameter	332.7	336.9	341.0	345.2	349.4	353.5	357.7	361.8	366.0	370.1
Qi (%)	90.29	91.60	92.77	93.80	94.70	95.48	96.17	96.76	97.26	97.70
qi (%)	35.231	31.244	27.569	24.209	21.160	18.412	15.953	13.764	11.829	10.126
Diameter	374.3	378.5	382.6	386.8	390.9	395.1	399.2	403.4	407.6	411.7
Qi (%)	98.07	98.39	98.66	98.89	99.08	99.24	99.37	99.49	99.58	99.66
qi (%)	8.637	7.340	6.217	5.248	4.416	3.704	3.098	2.584	2.149	1.782
Diameter	415.9	420.0	424.2	428.3	432.5	436.7	440.8	445.0	449.1	453.3
Qi (%)	99.72	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.474	1.217	1.002	0.823	0.674	0.552	0.450	0.367	0.298	0.242
Diameter	457.4	461.6	465.7	469.9	474.1	475.1				
Qi (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00				
qi (%)	0.196	0.158	0.128	0.103	0.083	0.000				



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1713
Result date : 8/3/2022 3:42:09 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP2
Sample reference :
Batch number : 2
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 309.6
Dmean (nm) : 322.3
D10 (nm) : 251.7
D50 (nm) : 314.8
D90 (nm) : 393.8
Coefficient of variation (%) : 16.9
Polydispersity index : 0.02866
rms : 0.00299
Mean count rate (counts/s) : 890400

Diameter	140.2	141.2	146.4	151.7	157.0	162.2	167.5	172.7	178.0	183.3
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07
qi (%)	0.000	0.003	0.009	0.020	0.043	0.089	0.172	0.317	0.557	0.940
Diameter	188.5	193.8	199.1	204.3	209.6	214.8	220.1	225.4	230.6	235.9
Qi (%)	0.12	0.19	0.31	0.48	0.73	1.08	1.55	2.17	2.96	3.96
qi (%)	1.522	2.374	3.577	5.214	7.371	10.124	13.535	17.640	22.448	27.930
Diameter	241.2	246.4	251.7	256.9	262.2	267.5	272.7	278.0	283.3	288.5
Qi (%)	5.19	6.67	8.42	10.45	12.76	15.35	18.22	21.34	24.69	28.23
qi (%)	34.020	40.616	47.581	54.750	61.942	68.962	75.620	81.733	87.140	91.705
Diameter	293.8	299.0	304.3	309.6	314.8	320.1	325.4	330.6	335.9	341.1
Qi (%)	31.94	35.77	39.69	43.64	47.59	51.51	55.35	59.09	62.69	66.13
qi (%)	95.324	97.928	99.487	100.000	99.503	98.057	95.746	92.672	88.949	84.695
Diameter	346.4	351.7	356.9	362.2	367.5	372.7	378.0	383.2	388.5	393.8
Qi (%)	69.40	72.47	75.35	78.01	80.48	82.73	84.79	86.65	88.33	89.84
qi (%)	80.030	75.071	69.930	64.708	59.494	54.367	49.392	44.621	40.095	35.844
Diameter	399.0	404.3	409.6	414.8	420.1	425.3	430.6	435.9	441.1	446.4
Qi (%)	91.18	92.37	93.43	94.35	95.16	95.87	96.49	97.02	97.48	97.87
qi (%)	31.886	28.231	24.882	21.835	19.082	16.609	14.401	12.441	10.709	9.187
Diameter	451.7	456.9	462.2	467.4	472.7	478.0	483.2	488.5	493.8	499.0
Qi (%)	98.21	98.50	98.74	98.95	99.13	99.28	99.40	99.51	99.60	99.67
qi (%)	7.856	6.697	5.691	4.823	4.076	3.435	2.887	2.421	2.026	1.691
Diameter	504.3	509.5	514.8	520.1	525.3	530.6	535.9	541.1	546.4	551.6
Qi (%)	99.73	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.408	1.170	0.970	0.803	0.664	0.547	0.451	0.370	0.304	0.249
Diameter	556.9	562.2	567.4	572.7	573.7					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.204	0.166	0.136	0.111	0.000					



Nano DS SN 107

Analysis report

Result Id : 1714
Result date : 8/3/2022 3:43:21 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP2
Sample reference :
Batch number : 2
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 300.1
Dmean (nm) : 312.8
D10 (nm) : 243.3
D50 (nm) : 305.3
D90 (nm) : 382.9
Coefficient of variation (%) : 17.2
Polydispersity index : 0.02942
rms : 0.00290
Mean count rate (counts/s) : 846665

Diameter	133.7	134.7	139.8	145.0	150.2	155.4	160.5	165.7	170.9	176.0
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06
qi (%)	0.000	0.003	0.008	0.018	0.040	0.083	0.162	0.302	0.535	0.908
Diameter	181.2	186.4	191.6	196.7	201.9	207.1	212.2	217.4	222.6	227.7
Qi (%)	0.11	0.19	0.30	0.47	0.72	1.06	1.52	2.14	2.93	3.92
qi (%)	1.478	2.317	3.504	5.126	7.268	10.008	13.409	17.508	22.314	27.798
Diameter	232.9	238.1	243.3	248.4	253.6	258.8	263.9	269.1	274.3	279.5
Qi (%)	5.14	6.62	8.36	10.39	12.70	15.29	18.15	21.27	24.62	28.16
qi (%)	33.896	40.502	47.480	54.665	61.873	68.909	75.582	81.707	87.124	91.696
Diameter	284.6	289.8	295.0	300.1	305.3	310.5	315.7	320.8	326.0	331.2
Qi (%)	31.87	35.70	39.61	43.56	47.52	51.43	55.28	59.01	62.61	66.05
qi (%)	95.319	97.927	99.486	100.000	99.503	98.057	95.747	92.676	88.955	84.705
Diameter	336.3	341.5	346.7	351.9	357.0	362.2	367.4	372.5	377.7	382.9
Qi (%)	69.32	72.39	75.27	77.94	80.40	82.66	84.72	86.59	88.27	89.78
qi (%)	80.046	75.095	69.962	64.747	59.542	54.423	49.456	44.693	40.174	35.927
Diameter	388.0	393.2	398.4	403.6	408.7	413.9	419.1	424.2	429.4	434.6
Qi (%)	91.12	92.32	93.37	94.30	95.12	95.83	96.45	96.98	97.45	97.84
qi (%)	31.973	28.321	24.974	21.927	19.173	16.699	14.489	12.525	10.790	9.264
Diameter	439.8	444.9	450.1	455.3	460.4	465.6	470.8	476.0	481.1	486.3
Qi (%)	98.18	98.47	98.72	98.93	99.11	99.26	99.39	99.50	99.59	99.66
qi (%)	7.928	6.764	5.753	4.880	4.128	3.482	2.931	2.460	2.060	1.722
Diameter	491.5	496.6	501.8	507.0	512.2	517.3	522.5	527.7	532.8	538.0
Qi (%)	99.72	99.78	99.82	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.436	1.194	0.992	0.822	0.680	0.562	0.463	0.381	0.313	0.257
Diameter	543.2	548.4	553.5	558.7	559.7					
Qi (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00					
qi (%)	0.211	0.172	0.141	0.115	0.000					



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1716
Result date : 8/3/2022 3:48:39 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP4
Sample reference :
Batch number : 1
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity
Dynamic measurement settings
Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 229.4
Dmean (nm) : 237.5
D10 (nm) : 189.4
D50 (nm) : 233.0
D90 (nm) : 283.9
Coefficient of variation (%) : 15.8
Polydispersity index : 0.02489
rms : 0.00236
Mean count rate (counts/s) : 1641029

Diameter	108.5	109.5	113.1	116.8	120.4	124.0	127.7	131.3	134.9	138.6
Q _i (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05
q _i (%)	0.000	0.003	0.007	0.016	0.035	0.070	0.134	0.244	0.428	0.721
Diameter	142.2	145.8	149.5	153.1	156.7	160.4	164.0	167.6	171.3	174.9
Q _i (%)	0.09	0.15	0.24	0.38	0.57	0.85	1.22	1.73	2.38	3.21
q _i (%)	1.169	1.831	2.774	4.075	5.812	8.064	10.900	14.374	18.519	23.337
Diameter	178.5	182.2	185.8	189.4	193.1	196.7	200.3	204.0	207.6	211.2
Q _i (%)	4.24	5.51	7.02	8.80	10.85	13.19	15.80	18.68	21.81	25.17
q _i (%)	28.800	34.843	41.367	48.241	55.308	62.393	69.310	75.873	81.905	87.247
Diameter	214.8	218.5	222.1	225.7	229.4	233.0	236.6	240.3	243.9	247.5
Q _i (%)	28.72	32.43	36.27	40.18	44.14	48.10	52.02	55.87	59.60	63.21
q _i (%)	91.764	95.351	97.938	99.488	100.000	99.503	98.056	95.739	92.651	88.906
Diameter	251.2	254.8	258.4	262.1	265.7	269.3	273.0	276.6	280.2	283.9
Q _i (%)	66.65	69.91	72.99	75.86	78.52	80.97	83.22	85.26	87.11	88.77
q _i (%)	84.620	79.915	74.910	69.716	64.437	59.165	53.982	48.953	44.134	39.566
Diameter	287.5	291.1	294.8	298.4	302.0	305.7	309.3	312.9	316.6	320.2
Q _i (%)	90.25	91.57	92.74	93.77	94.67	95.46	96.14	96.74	97.25	97.68
q _i (%)	35.279	31.294	27.621	24.261	21.212	18.464	16.003	13.813	11.876	10.171
Diameter	323.8	327.5	331.1	334.7	338.4	342.0	345.6	349.2	352.9	356.5
Q _i (%)	98.06	98.38	98.65	98.87	99.07	99.23	99.37	99.48	99.57	99.65
q _i (%)	8.679	7.380	6.253	5.282	4.447	3.732	3.123	2.607	2.169	1.800
Diameter	360.1	363.8	367.4	371.0	374.7	378.3	381.9	385.6	389.2	392.8
Q _i (%)	99.72	99.77	99.82	99.85	99.88	99.91	99.93	99.95	99.96	99.97
q _i (%)	1.491	1.231	1.014	0.834	0.684	0.560	0.457	0.373	0.303	0.246
Diameter	396.5	400.1	403.7	407.4	411.0	412.0				
Q _i (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00				
q _i (%)	0.200	0.162	0.131	0.105	0.085	0.000				



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1717
Result date : 8/3/2022 3:49:51 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters		Measurement settings	
SOP name :	SOP DLS xxx	Solvent temperature (°C) :	25.0
Result name :	FASP4	Solvent viscosity (mPa.s) :	0.891
Sample reference :		Distribution :	intensity
Batch number :	1	Dynamic measurement settings	
Customer name :		Integration time (s) :	60
Material :	NMC	Angle (°) :	90
Solvent :	Water	Algorithm :	Cumulant
Concentration (%v) :	0.01		
Density (g.cm ⁻³) :	1.31		

Result data	
Dmode (nm) :	243.6
Dmean (nm) :	252.9
D10 (nm) :	199.7
D50 (nm) :	247.6
D90 (nm) :	303.5
Coefficient of variation (%) :	16.3
Polvdispersity index :	0.02660
rms :	0.00200
Mean count rate (counts/s) :	1579672

Diameter	115.0	116.0	120.0	123.9	127.9	131.9	135.9	139.9	143.9	147.9
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05	0.08
qi (%)	0.000	0.005	0.013	0.028	0.058	0.113	0.212	0.379	0.649	1.069
Diameter	151.9	155.9	159.9	163.8	167.8	171.8	175.8	179.8	183.8	187.8
Qi (%)	0.13	0.22	0.35	0.53	0.80	1.16	1.65	2.29	3.10	4.12
qi (%)	1.698	2.603	3.863	5.559	7.771	10.574	14.022	18.152	22.966	28.438
Diameter	191.8	195.8	199.7	203.7	207.7	211.7	215.7	219.7	223.7	227.7
Qi (%)	5.37	6.87	8.64	10.68	13.01	15.61	18.49	21.61	24.97	28.51
qi (%)	34.501	41.055	47.966	55.076	62.206	69.166	75.768	81.834	87.203	91.739
Diameter	231.7	235.7	239.6	243.6	247.6	251.6	255.6	259.6	263.6	267.6
Qi (%)	32.23	36.06	39.97	43.93	47.89	51.81	55.65	59.39	62.99	66.43
qi (%)	95.340	97.934	99.488	100.000	99.503	98.056	95.742	92.660	88.924	84.652
Diameter	271.6	275.5	279.5	283.5	287.5	291.5	295.5	299.5	303.5	307.5
Qi (%)	69.70	72.77	75.64	78.31	80.76	83.01	85.06	86.92	88.59	90.08
qi (%)	79.964	74.978	69.806	64.551	59.304	54.144	49.138	44.340	39.789	35.518
Diameter	311.5	315.4	319.4	323.4	327.4	331.4	335.4	339.4	343.4	347.4
Qi (%)	91.41	92.59	93.63	94.54	95.34	96.03	96.63	97.15	97.60	97.98
qi (%)	31.544	27.878	24.523	21.475	18.724	16.258	14.060	12.113	10.397	8.892
Diameter	351.3	355.3	359.3	363.3	367.3	371.3	375.3	379.3	383.3	387.3
Qi (%)	98.31	98.58	98.82	99.02	99.19	99.33	99.45	99.55	99.63	99.70
qi (%)	7.579	6.438	5.452	4.603	3.875	3.253	2.723	2.273	1.893	1.573
Diameter	391.2	395.2	399.2	403.2	407.2	411.2	415.2	419.2	423.2	427.1
Qi (%)	99.76	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.304	1.078	0.890	0.733	0.602	0.494	0.404	0.330	0.269	0.219
Diameter	431.1	435.1	439.1	443.1	444.1					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.178	0.145	0.117	0.095	0.000					



Nano DS SN 107

Analysis report

Result Id : 1718
Result date : 8/3/2022 3:51:04 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP4
Sample reference :
Batch number : 1
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 243.7
Dmean (nm) : 252.8
D10 (nm) : 200.1
D50 (nm) : 247.7
D90 (nm) : 303.2
Coefficient of variation (%) : 16.2
Polydispersity index : 0.02627
rms : 0.00091
Mean count rate (counts/s) : 1665409

Diameter	115.8	116.8	120.8	124.7	128.7	132.7	136.6	140.6	144.6	148.5
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.08
qi (%)	0.000	0.006	0.013	0.029	0.060	0.116	0.217	0.387	0.661	1.086
Diameter	152.5	156.5	160.4	164.4	168.4	172.3	176.3	180.3	184.2	188.2
Qi (%)	0.14	0.22	0.35	0.54	0.81	1.17	1.66	2.30	3.12	4.14
qi (%)	1.721	2.632	3.899	5.602	7.822	10.630	14.083	18.215	23.031	28.501
Diameter	192.2	196.1	200.1	204.1	208.0	212.0	216.0	219.9	223.9	227.9
Qi (%)	5.40	6.90	8.66	10.71	13.04	15.64	18.52	21.65	25.00	28.55
qi (%)	34.560	41.109	48.014	55.117	62.238	69.191	75.786	81.846	87.210	91.744
Diameter	231.8	235.8	239.8	243.7	247.7	251.7	255.6	259.6	263.5	267.5
Qi (%)	32.26	36.09	40.01	43.97	47.93	51.84	55.69	59.43	63.03	66.47
qi (%)	95.342	97.935	99.488	100.000	99.503	98.056	95.741	92.659	88.921	84.646
Diameter	271.5	275.4	279.4	283.4	287.3	291.3	295.3	299.2	303.2	307.2
Qi (%)	69.74	72.81	75.68	78.34	80.80	83.05	85.10	86.95	88.62	90.11
qi (%)	79.955	74.966	69.791	64.532	59.280	54.116	49.106	44.304	39.751	35.476
Diameter	311.1	315.1	319.1	323.0	327.0	331.0	334.9	338.9	342.9	346.8
Qi (%)	91.44	92.61	93.65	94.56	95.36	96.05	96.65	97.17	97.61	97.99
qi (%)	31.500	27.833	24.478	21.429	18.679	16.214	14.017	12.072	10.357	8.855
Diameter	350.8	354.8	358.7	362.7	366.7	370.6	374.6	378.6	382.5	386.5
Qi (%)	98.32	98.60	98.83	99.03	99.20	99.34	99.45	99.55	99.63	99.70
qi (%)	7.544	6.406	5.423	4.576	3.850	3.230	2.702	2.255	1.877	1.558
Diameter	390.5	394.4	398.4	402.4	406.3	410.3	414.3	418.2	422.2	426.2
Qi (%)	99.76	99.81	99.84	99.88	99.90	99.92	99.94	99.96	99.97	99.98
qi (%)	1.291	1.067	0.880	0.724	0.595	0.487	0.399	0.326	0.265	0.216
Diameter	430.1	434.1	438.1	442.0	443.0					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.175	0.142	0.115	0.093	0.000					



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1720
Result date : 8/3/2022 3:54:32 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters		Measurement settings	
SOP name :	SOP DLS xxx	Solvent temperature (°C) :	25.0
Result name :	FASP4	Solvent viscosity (mPa.s) :	0.891
Sample reference :		Distribution :	intensity
Batch number :	2	Dynamic measurement settings	
Customer name :		Integration time (s) :	60
Material :	NMC	Angle (°) :	90
Solvent :	Water	Algorithm :	Cumulant
Concentration (%v) :	0.01		
Density (g.cm ⁻³) :	1.31		

Result data	
Dmode (nm) :	243.8
Dmean (nm) :	251.4
D10 (nm) :	203.9
D50 (nm) :	247.4
D90 (nm) :	298.1
Coefficient of variation (%) :	14.8
Polvdispersity index :	0.02199
rms :	0.00234
Mean count rate (counts/s) :	1645861

Diameter	123.1	124.1	127.7	131.4	135.0	138.6	142.2	145.9	149.5	153.1
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06
qi (%)	0.000	0.005	0.011	0.024	0.048	0.093	0.171	0.303	0.514	0.844
Diameter	156.7	160.4	164.0	167.6	171.2	174.9	178.5	182.1	185.7	189.4
Qi (%)	0.11	0.17	0.28	0.42	0.63	0.93	1.32	1.85	2.52	3.38
qi (%)	1.337	2.052	3.055	4.418	6.219	8.530	11.417	14.929	19.096	23.919
Diameter	193.0	196.6	200.2	203.9	207.5	211.1	214.7	218.4	222.0	225.6
Qi (%)	4.43	5.72	7.25	9.05	11.12	13.47	16.10	18.99	22.12	25.49
qi (%)	29.367	35.378	41.854	48.668	55.669	62.685	69.535	76.036	82.016	87.316
Diameter	229.3	232.9	236.5	240.1	243.8	247.4	251.0	254.6	258.3	261.9
Qi (%)	29.04	32.76	36.60	40.52	44.48	48.44	52.36	56.21	59.95	63.55
qi (%)	91.802	95.369	97.944	99.489	100.000	99.503	98.055	95.733	92.637	88.876
Diameter	265.5	269.1	272.8	276.4	280.0	283.6	287.3	290.9	294.5	298.1
Qi (%)	66.99	70.26	73.33	76.19	78.85	81.30	83.53	85.57	87.40	89.05
qi (%)	84.569	79.837	74.800	69.570	64.253	58.942	53.720	48.656	43.804	39.207
Diameter	301.8	305.4	309.0	312.6	316.3	319.9	323.5	327.1	330.8	334.4
Qi (%)	90.52	91.83	92.98	93.99	94.88	95.65	96.32	96.90	97.39	97.81
qi (%)	34.898	30.895	27.210	23.845	20.795	18.051	15.600	13.423	11.502	9.816
Diameter	338.0	341.6	345.3	348.9	352.5	356.2	359.8	363.4	367.0	370.7
Qi (%)	98.17	98.48	98.74	98.96	99.14	99.29	99.42	99.53	99.62	99.69
qi (%)	8.345	7.067	5.964	5.015	4.203	3.511	2.924	2.428	2.009	1.659
Diameter	374.3	377.9	381.5	385.2	388.8	392.4	396.0	399.7	403.3	406.9
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.365	1.121	0.918	0.750	0.611	0.497	0.403	0.326	0.264	0.212
Diameter	410.5	414.2	417.8	421.4	425.0	428.6				
Qi (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00				
qi (%)	0.171	0.137	0.110	0.088	0.070	0.000				



Nano DS SN 107

Analysis report

Result Id : 1725
 Result date : 8/3/2022 4:07:09 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
 Result name : FASP6
 Sample reference :
 Batch number : 2
 Customer name :
 Material : NMC
 Solvent : Water
 Concentration (%w) : 0.01
 Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
 Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
 Angle (°) : 90
 Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 333.7
 Dmean (nm) : 347.1
 D10 (nm) : 272.3
 D50 (nm) : 339.3
 D90 (nm) : 423.0
 Coefficient of variation (%) : 16.7
 Polydispersity index : 0.02777
 rms : 0.00448
 Mean count rate (counts/s) : 773039

Diameter	154.1	155.1	160.6	166.2	171.8	177.4	183.0	188.6	194.1	199.7
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07
qi (%)	0.000	0.004	0.010	0.022	0.047	0.095	0.182	0.332	0.581	0.973
Diameter	205.3	210.9	216.5	222.1	227.6	233.2	238.8	244.4	250.0	255.6
Qi (%)	0.12	0.20	0.32	0.50	0.75	1.10	1.58	2.20	3.00	4.00
qi (%)	1.568	2.434	3.652	5.305	7.477	10.243	13.664	17.777	22.587	28.066
Diameter	261.1	266.7	272.3	277.9	283.5	289.1	294.6	300.2	305.8	311.4
Qi (%)	5.24	6.72	8.48	10.51	12.82	15.42	18.29	21.41	24.76	28.31
qi (%)	34.149	40.733	47.684	54.837	62.012	69.017	75.660	81.760	87.157	91.714
Diameter	317.0	322.6	328.1	333.7	339.3	344.9	350.5	356.0	361.6	367.2
Qi (%)	32.02	35.85	39.76	43.72	47.67	51.59	55.43	59.17	62.77	66.21
qi (%)	95.328	97.930	99.487	100.000	99.503	98.057	95.745	92.669	88.942	84.683
Diameter	372.8	378.4	384.0	389.5	395.1	400.7	406.3	411.9	417.5	423.0
Qi (%)	69.48	72.55	75.42	78.09	80.55	82.81	84.86	86.72	88.40	89.90
qi (%)	80.012	75.047	69.897	64.666	59.444	54.308	49.325	44.547	40.014	35.758
Diameter	428.6	434.2	439.8	445.4	451.0	456.5	462.1	467.7	473.3	478.9
Qi (%)	91.24	92.43	93.48	94.40	95.21	95.91	96.52	97.05	97.51	97.90
qi (%)	31.795	28.137	24.787	21.740	18.987	16.516	14.310	12.353	10.626	9.109
Diameter	484.5	490.0	495.6	501.2	506.8	512.4	518.0	523.5	529.1	534.7
Qi (%)	98.24	98.52	98.76	98.97	99.14	99.29	99.41	99.52	99.60	99.68
qi (%)	7.782	6.628	5.628	4.764	4.022	3.386	2.843	2.381	1.990	1.659
Diameter	540.3	545.9	551.5	557.0	562.6	568.2	573.8	579.4	585.0	590.5
Qi (%)	99.74	99.79	99.83	99.86	99.89	99.92	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.380	1.145	0.949	0.784	0.647	0.533	0.438	0.359	0.294	0.241
Diameter	596.1	601.7	607.3	612.9	618.5					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.197	0.160	0.131	0.106	0.080					



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1726
Result date : 8/3/2022 4:08:21 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters SOP name : SOP DLS xxx Result name : FASP6 Sample reference : Batch number : 2 Customer name : Material : NMC Solvent : Water Concentration (%w) : 0.01 Density (g.cm ⁻³) : 1.31	Measurement settings Solvent temperature (°C) : 25.0 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891 Distribution : intensity Dynamic measurement settings Integration time (s) : 60 Angle (°) : 90 Algorithm : Cumulant
--	--

Result data	
Dmode (nm) :	318.1
Dmean (nm) :	330.2
D10 (nm) :	260.9
D50 (nm) :	323.3
D90 (nm) :	396.1
Coefficient of variation (%) :	16.3
Polvdispersity index :	0.02653
rms :	0.00168
Mean count rate (counts/s) :	760942

Diameter	150.7	151.7	156.9	162.1	167.3	172.5	177.7	182.9	188.1	193.3
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
qi (%)	0.000	0.005	0.012	0.026	0.054	0.108	0.203	0.365	0.629	1.042
Diameter	198.5	203.7	208.9	214.1	219.3	224.5	229.7	234.9	240.1	245.3
Qi (%)	0.13	0.21	0.34	0.52	0.79	1.15	1.63	2.26	3.07	4.09
qi (%)	1.660	2.554	3.802	5.486	7.687	10.479	13.920	18.045	22.858	28.332
Diameter	250.5	255.7	260.9	266.1	271.3	276.5	281.7	286.9	292.1	297.3
Qi (%)	5.33	6.83	8.59	10.63	12.95	15.56	18.43	21.56	24.91	28.46
qi (%)	34.401	40.963	47.886	55.009	62.151	69.123	75.737	81.813	87.190	91.732
Diameter	302.5	307.7	312.9	318.1	323.3	328.5	333.7	338.9	344.1	349.3
Qi (%)	32.17	36.00	39.91	43.87	47.83	51.75	55.59	59.33	62.93	66.37
qi (%)	95.336	97.933	99.487	100.000	99.503	98.056	95.743	92.663	88.929	84.661
Diameter	354.5	359.7	364.9	370.1	375.3	380.5	385.7	390.9	396.1	401.3
Qi (%)	69.63	72.71	75.58	78.25	80.70	82.96	85.01	86.86	88.53	90.03
qi (%)	79.978	74.998	69.832	64.584	59.344	54.191	49.192	44.399	39.854	35.586
Diameter	406.5	411.7	416.9	422.1	427.3	432.5	437.7	442.9	448.0	453.2
Qi (%)	91.36	92.54	93.59	94.50	95.30	96.00	96.60	97.12	97.57	97.96
qi (%)	31.616	27.952	24.598	21.550	18.799	16.331	14.132	12.181	10.462	8.954
Diameter	458.4	463.6	468.8	474.0	479.2	484.4	489.6	494.8	500.0	505.2
Qi (%)	98.29	98.57	98.80	99.01	99.18	99.32	99.44	99.54	99.62	99.69
qi (%)	7.637	6.492	5.502	4.649	3.917	3.290	2.757	2.304	1.921	1.597
Diameter	510.4	515.6	520.8	526.0	531.2	536.4	541.6	546.8	552.0	557.2
Qi (%)	99.75	99.80	99.84	99.87	99.90	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
qi (%)	1.325	1.097	0.906	0.747	0.615	0.505	0.414	0.338	0.276	0.225
Diameter	562.4	567.6	572.8	578.0	579.0					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.184	0.149	0.121	0.098	0.000					



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1727
Result date : 8/3/2022 4:09:33 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters SOP name : SOP DLS xxx Result name : FASP6 Sample reference : Batch number : 2 Customer name : Material : NMC Solvent : Water Concentration (%w) : 0.01 Density (g.cm ⁻³) : 1.31	Measurement settings Solvent temperature (°C) : 25.0 Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891 Distribution : intensity Dynamic measurement settings Integration time (s) : 60 Angle (°) : 90 Algorithm : Cumulant
---	--

Result data	
Dmode (nm) :	337.9
Dmean (nm) :	351.7
D10 (nm) :	275.2
D50 (nm) :	343.6
D90 (nm) :	429.1
Coefficient of variation (%) :	16.8
Polvdispersity index :	0.02822
rms :	0.00167
Mean count rate (counts/s) :	788795

Diameter	154.5	155.5	161.2	166.9	172.6	178.3	184.0	189.7	195.4	201.1
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07
qi (%)	0.000	0.004	0.009	0.020	0.044	0.090	0.175	0.321	0.564	0.950
Diameter	206.8	212.5	218.2	223.9	229.6	235.3	241.0	246.7	252.4	258.1
Qi (%)	0.12	0.19	0.31	0.49	0.74	1.09	1.56	2.18	2.97	3.97
qi (%)	1.536	2.393	3.600	5.242	7.403	10.160	13.574	17.682	22.491	27.972
Diameter	263.8	269.5	275.2	280.9	286.6	292.3	298.0	303.7	309.4	315.1
Qi (%)	5.20	6.69	8.44	10.47	12.78	15.38	18.24	21.36	24.71	28.26
qi (%)	34.060	40.652	47.612	54.777	61.963	68.979	75.632	81.742	87.145	91.707
Diameter	320.8	326.5	332.2	337.9	343.6	349.3	355.0	360.7	366.4	372.1
Qi (%)	31.96	35.80	39.71	43.66	47.62	51.54	55.38	59.11	62.71	66.16
qi (%)	95.325	97.929	99.487	100.000	99.503	98.057	95.746	92.672	88.947	84.691
Diameter	377.8	383.5	389.2	394.9	400.6	406.3	412.0	417.7	423.4	429.1
Qi (%)	69.42	72.50	75.37	78.04	80.50	82.76	84.81	86.68	88.35	89.86
qi (%)	80.024	75.064	69.920	64.695	59.478	54.349	49.371	44.598	40.071	35.818
Diameter	434.8	440.5	446.2	451.9	457.6	463.3	469.0	474.7	480.4	486.1
Qi (%)	91.20	92.39	93.44	94.37	95.18	95.88	96.50	97.03	97.49	97.88
qi (%)	31.858	28.202	24.853	21.806	19.053	16.580	14.373	12.414	10.684	9.163
Diameter	491.8	497.5	503.2	508.9	514.6	520.3	526.0	531.7	537.4	543.1
Qi (%)	98.22	98.50	98.75	98.96	99.13	99.28	99.41	99.51	99.60	99.67
qi (%)	7.834	6.676	5.672	4.805	4.059	3.420	2.874	2.409	2.015	1.681
Diameter	548.8	554.5	560.2	565.9	571.6	577.3	583.0	588.7	594.4	600.1
Qi (%)	99.73	99.78	99.83	99.86	99.89	99.91	99.93	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.399	1.162	0.964	0.797	0.659	0.543	0.447	0.367	0.301	0.247
Diameter	605.8	611.5	617.2	622.9	628.9					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.202	0.165	0.134	0.109	0.080					



Nano DS SN 107
Analysis report

Result Id : 1731
Result date : 8/3/2022 4:23:27 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters		Measurement settings	
SOP name :	SOP DLS xxx	Solvent temperature (°C) :	25.0
Result name :	FASP8	Solvent viscosity (mPa.s) :	0.891
Sample reference :		Distribution :	intensity
Batch number :	2	Dynamic measurement settings	
Customer name :		Integration time (s) :	60
Material :	NMC	Angle (°) :	90
Solvent :	Water	Algorithm :	Cumulant
Concentration (%v) :	0.01		
Density (g.cm ⁻³) :	1.31		

Result data	
Dmode (nm) :	313.8
Dmean (nm) :	323.9
D10 (nm) :	261.9
D50 (nm) :	318.5
D90 (nm) :	384.6
Coefficient of variation (%) :	15.0
Polvdispersity index :	0.02248
rms :	0.00586
Mean count rate (counts/s) :	2121453

Diameter	157.1	158.1	162.8	167.5	172.3	177.0	181.7	186.4	191.1	195.8
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06
qi (%)	0.000	0.004	0.010	0.021	0.043	0.084	0.157	0.281	0.482	0.798
Diameter	200.6	205.3	210.0	214.7	219.4	224.2	228.9	233.6	238.3	243.0
Qi (%)	0.10	0.16	0.26	0.41	0.61	0.90	1.29	1.80	2.47	3.31
qi (%)	1.275	1.970	2.952	4.292	6.070	8.360	11.229	14.728	18.887	23.709
Diameter	247.8	252.5	257.2	261.9	266.6	271.3	276.1	280.8	285.5	290.2
Qi (%)	4.36	5.64	7.17	8.96	11.02	13.37	15.99	18.88	22.01	25.37
qi (%)	29.163	35.185	41.678	48.514	55.539	62.580	69.454	75.978	81.976	87.291
Diameter	294.9	299.7	304.4	309.1	313.8	318.5	323.3	328.0	332.7	337.4
Qi (%)	28.92	32.64	36.48	40.40	44.36	48.32	52.24	56.08	59.82	63.43
qi (%)	91.788	95.362	97.942	99.489	100.000	99.503	98.055	95.735	92.642	88.887
Diameter	342.1	346.8	351.6	356.3	361.0	365.7	370.4	375.2	379.9	384.6
Qi (%)	66.87	70.13	73.20	76.07	78.73	81.18	83.42	85.45	87.29	88.95
qi (%)	84.588	79.866	74.840	69.623	64.320	59.024	53.816	48.764	43.924	39.338
Diameter	389.3	394.0	398.7	403.5	408.2	412.9	417.6	422.3	427.1	431.8
Qi (%)	90.42	91.74	92.89	93.91	94.81	95.58	96.26	96.84	97.34	97.77
qi (%)	35.037	31.040	27.359	23.996	20.947	18.201	15.746	13.565	11.637	9.945
Diameter	436.5	441.2	445.9	450.7	455.4	460.1	464.8	469.5	474.2	479.0
Qi (%)	98.13	98.44	98.71	98.93	99.11	99.27	99.40	99.51	99.60	99.68
qi (%)	8.466	7.180	6.068	5.111	4.291	3.591	2.996	2.492	2.067	1.709
Diameter	483.7	488.4	493.1	497.8	502.6	507.3	512.0	516.7	521.4	526.2
Qi (%)	99.74	99.79	99.83	99.87	99.89	99.92	99.94	99.95	99.96	99.97
qi (%)	1.410	1.160	0.952	0.780	0.637	0.519	0.422	0.343	0.278	0.224
Diameter	530.9	535.6	540.3	545.0	549.7	550.7				
Qi (%)	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00				
qi (%)	0.181	0.146	0.117	0.094	0.075	0.000				



Nano DS SN 107

Analysis report

Result Id : 1733
Result date : 8/3/2022 4:25:53 PM

Print date : 8/3/2022

SOP parameters

SOP name : SOP DLS xxx
Result name : FASP8
Sample reference :
Batch number : 2
Customer name :
Material : NMC
Solvent : Water
Concentration (%w) : 0.01
Density (g.cm⁻³) : 1.31

Measurement settings

Solvent temperature (°C) : 25.0
Solvent viscosity (mPa.s) : 0.891
Distribution : intensity

Dynamic measurement settings

Integration time (s) : 60
Angle (°) : 90
Algorithm : Cumulant

Result data

Dmode (nm) : 310.0
Dmean (nm) : 321.4
D10 (nm) : 255.2
D50 (nm) : 315.0
D90 (nm) : 384.7
Coefficient of variation (%) : 16.0
Polydispersity index : 0.02560
rms : 0.00062
Mean count rate (counts/s) : 2076684

Diameter	149.7	150.7	155.7	160.7	165.7	170.6	175.6	180.6	185.6	190.5
Qi (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.08
qi (%)	0.000	0.006	0.014	0.029	0.060	0.118	0.220	0.391	0.667	1.094
Diameter	195.5	200.5	205.5	210.5	215.4	220.4	225.4	230.4	235.3	240.3
Qi (%)	0.14	0.22	0.35	0.54	0.81	1.18	1.67	2.31	3.13	4.15
qi (%)	1.731	2.645	3.915	5.621	7.844	10.655	14.110	18.243	23.059	28.529
Diameter	245.3	250.3	255.2	260.2	265.2	270.2	275.2	280.1	285.1	290.1
Qi (%)	5.41	6.91	8.68	10.72	13.05	15.66	18.53	21.66	25.02	28.57
qi (%)	34.587	41.133	48.035	55.135	62.253	69.202	75.794	81.852	87.214	91.745
Diameter	295.1	300.0	305.0	310.0	315.0	320.0	324.9	329.9	334.9	339.9
Qi (%)	32.28	36.11	40.03	43.98	47.94	51.86	55.70	59.44	63.04	66.49
qi (%)	95.343	97.935	99.488	100.000	99.503	98.056	95.741	92.658	88.919	84.644
Diameter	344.8	349.8	354.8	359.8	364.7	369.7	374.7	379.7	384.7	389.6
Qi (%)	69.75	72.82	75.70	78.36	80.82	83.06	85.11	86.96	88.63	90.12
qi (%)	79.952	74.961	69.784	64.523	59.270	54.104	49.092	44.288	39.734	35.458
Diameter	394.6	399.6	404.6	409.5	414.5	419.5	424.5	429.5	434.4	439.4
Qi (%)	91.45	92.63	93.66	94.57	95.37	96.06	96.66	97.17	97.62	98.00
qi (%)	31.482	27.814	24.458	21.409	18.659	16.194	13.999	12.054	10.340	8.839
Diameter	444.4	449.4	454.3	459.3	464.3	469.3	474.3	479.2	484.2	489.2
Qi (%)	98.32	98.60	98.83	99.03	99.20	99.34	99.46	99.55	99.64	99.70
qi (%)	7.529	6.392	5.410	4.564	3.839	3.220	2.694	2.247	1.870	1.552
Diameter	494.2	499.1	504.1	509.1	514.1	519.0	524.0	529.0	534.0	539.0
Qi (%)	99.76	99.81	99.85	99.88	99.90	99.92	99.94	99.96	99.97	99.98
qi (%)	1.285	1.062	0.875	0.720	0.591	0.484	0.396	0.323	0.264	0.214
Diameter	543.9	548.9	553.9	558.9	559.9					
Qi (%)	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00					
qi (%)	0.174	0.141	0.114	0.092	0.000					



NA Libs

User name: PHENOM-WORLD-PC\Phenom-World
Contains 3 images with a total of 3 analyses

01. Map

1 analysis: 1x map

02. Edx 1

1 analysis: 1x region

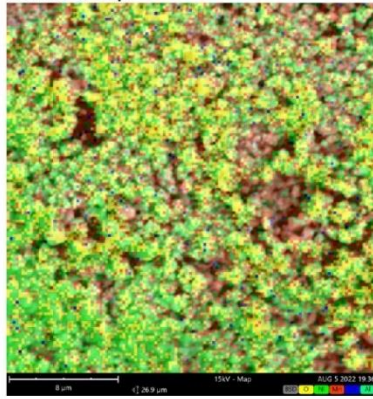
03. Edx 2

1 analysis: 1x region

Map

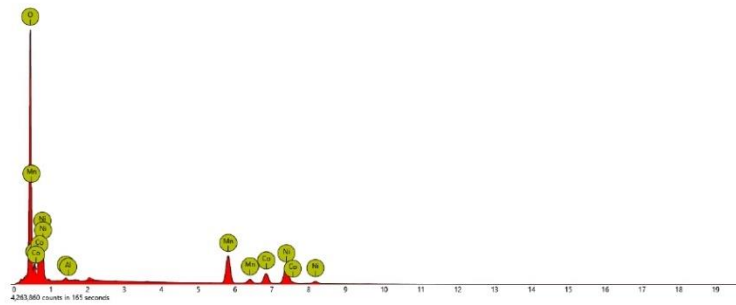
1. map

Combined map



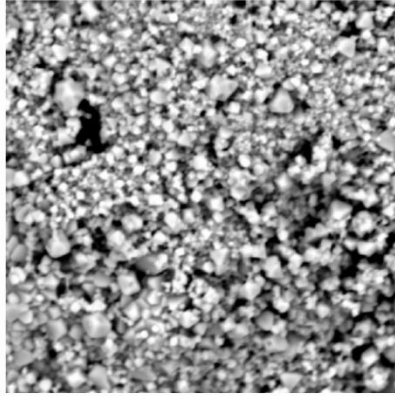
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	65.36	34.62		
Ni	15.51	30.14		
Mn	11.48	20.87		
Co	7.13	13.91		
Al	0.52	0.47		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 19:36

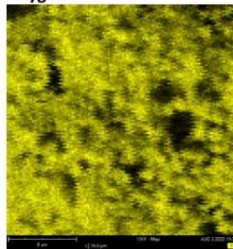


Disabled elements: B

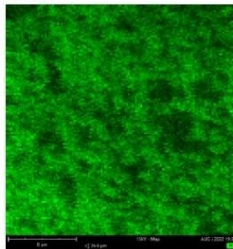
Cut out of map (resolution: 128x128 pixels)



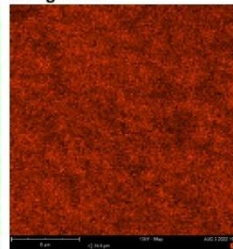
Oxygen



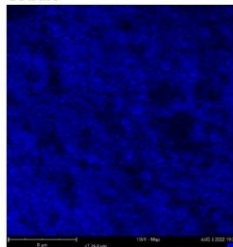
Nickel



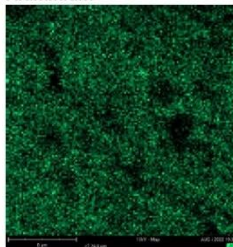
Manganese



Cobalt

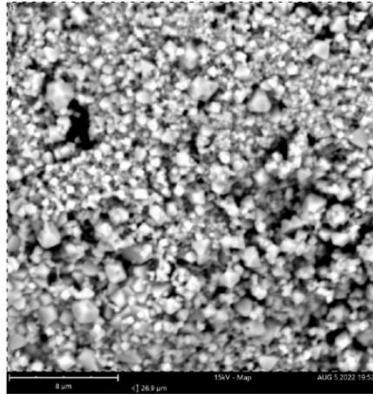


Aluminium



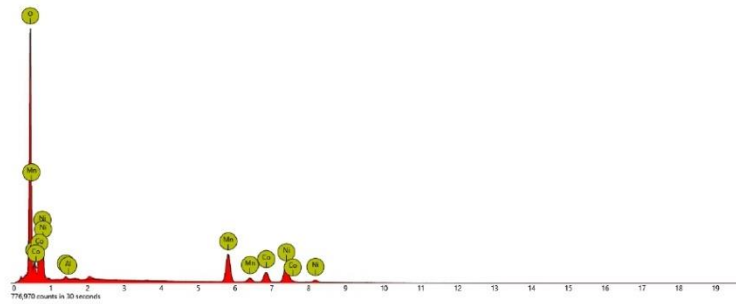
Edx 1

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	65.40	34.66		
Ni	15.38	29.91		
Mn	11.61	21.13		
Co	7.08	13.83		
Al	0.53	0.47		

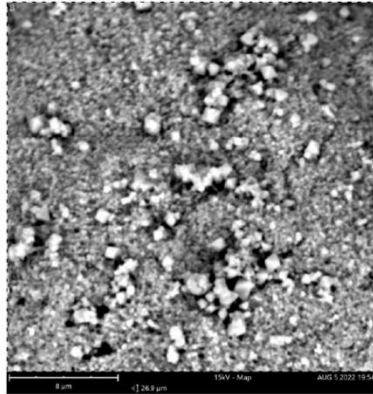
FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 19:52



Disabled elements: B

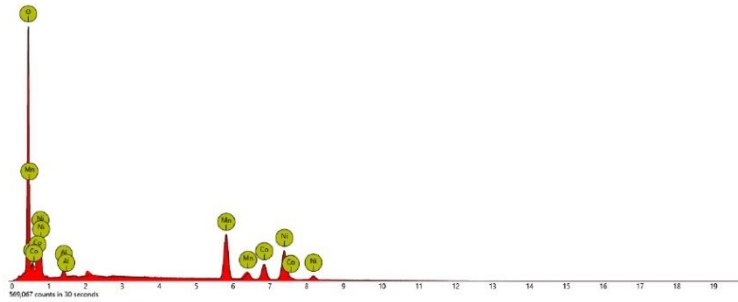
Edx 2

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
Ni	20.26	34.85		
O	55.05	25.81		
Mn	14.53	23.40		
Co	8.45	14.59		
Al	1.70	1.35		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 19:54



Disabled elements: B



NA Komersil

User name: PHENOM-WORLD-PC\Phenom-World
Contains 3 images with a total of 3 analyses

01. Map

1 analysis: 1x map

02. Edx 1

1 analysis: 1x region

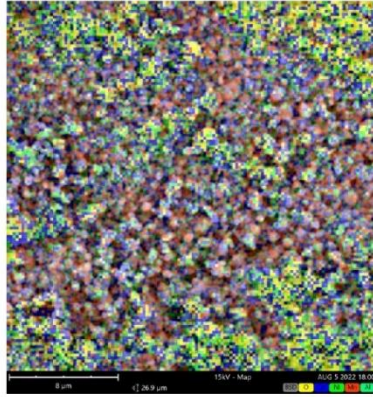
03. Edx 2

1 analysis: 1x region

Map

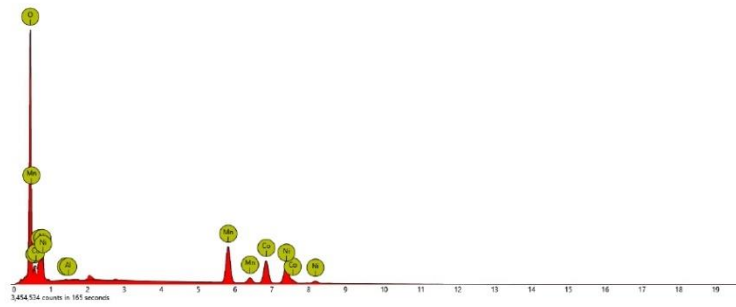
1. map

Combined map



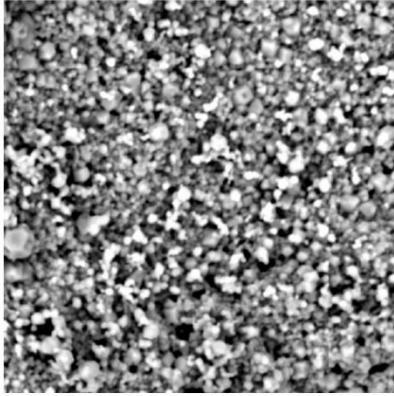
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	59.26	28.81		
Co	13.86	24.82		
Ni	13.68	24.40		
Mn	13.13	21.92		
Al	0.06	0.05		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:00

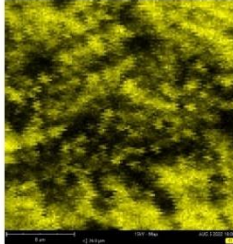


Disabled elements: B

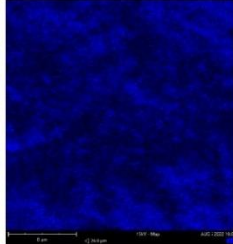
Cut out of map (resolution: 128x128 pixels)



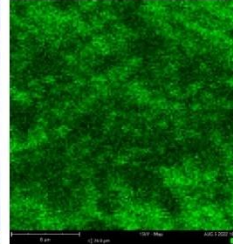
Oxygen



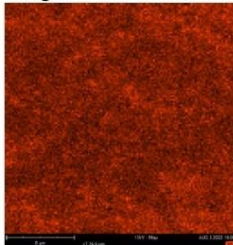
Cobalt



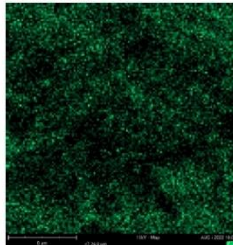
Nickel



Manganese

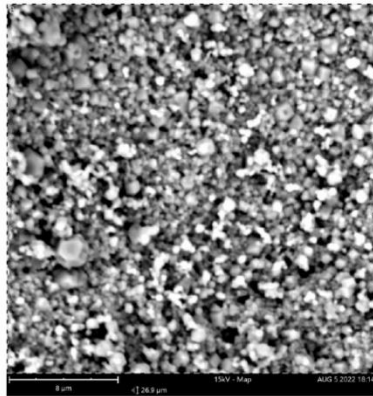


Aluminium



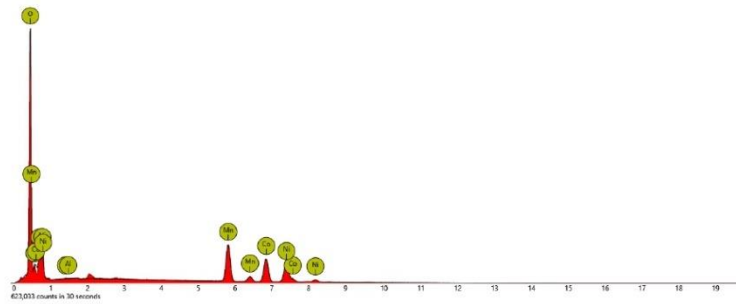
Edx 1

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	58.72	28.33		
Co	14.21	25.25		
Ni	13.87	24.54		
Mn	13.21	21.88		
Al	0.00	0.00		

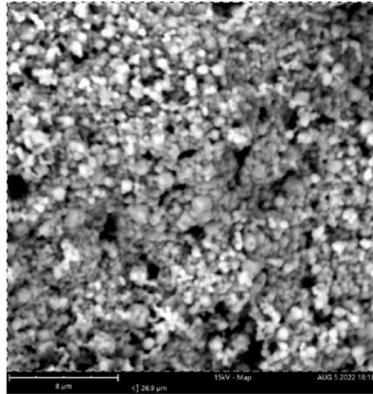
FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:14



Disabled elements: B

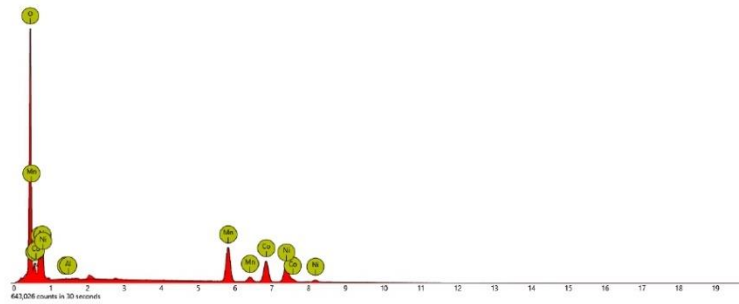
Edx 2

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	60.43	29.80		
Ni	13.43	24.30		
Co	13.32	24.20		
Mn	12.82	21.70		
Al	0.00	0.00		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:18



Disabled elements: B



AA Libs

User name: PHENOM-WORLD-PC\Phenom-World
Contains 3 images with a total of 3 analyses

01. Image 1

1 analysis: 1x map

02. Edx 1

1 analysis: 1x region

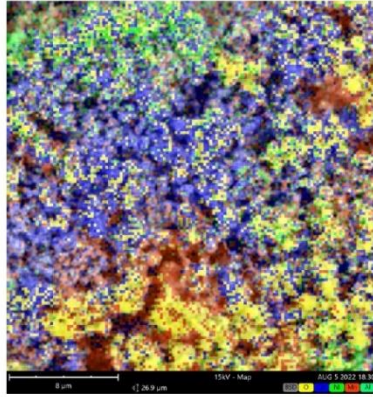
03. Image 3

1 analysis: 1x region

Image 1

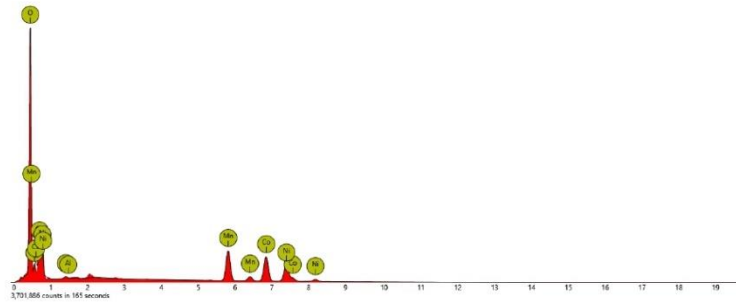
1. map

Combined map



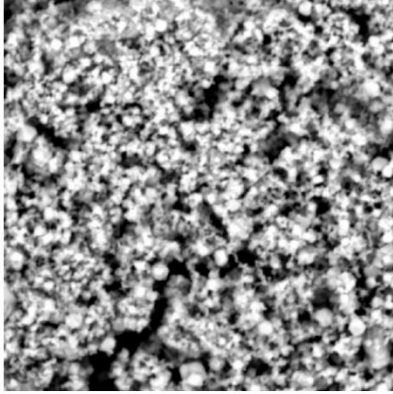
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	60.53	29.92		
Co	15.43	28.09		
Ni	12.63	22.92		
Mn	11.06	18.77		
Al	0.35	0.29		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:30

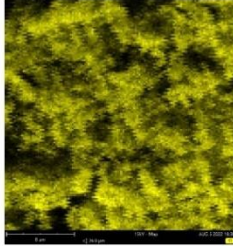


Disabled elements: B

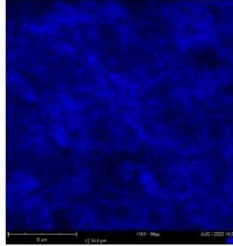
Cut out of map (resolution: 128x128 pixels)



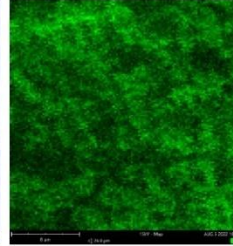
Oxygen



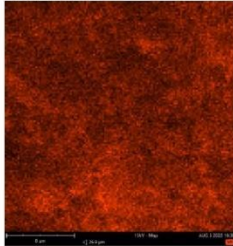
Cobalt



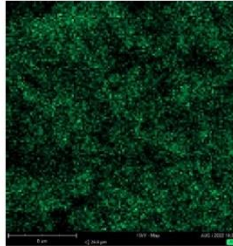
Nickel



Manganese

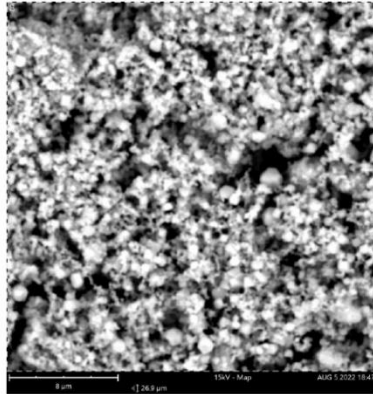


Aluminium



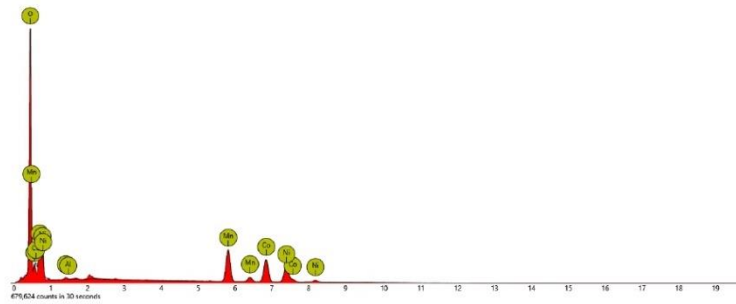
Edx 1

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	61.22	30.57		
Co	14.49	26.65		
Ni	12.17	22.29		
Mn	11.79	20.21		
Al	0.33	0.28		

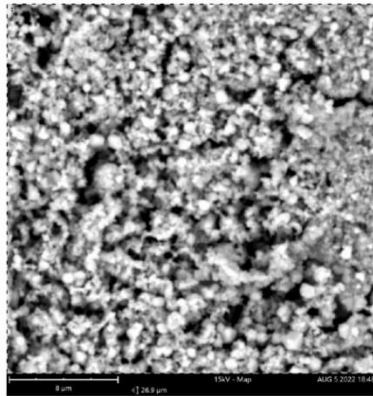
FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:47



Disabled elements: B

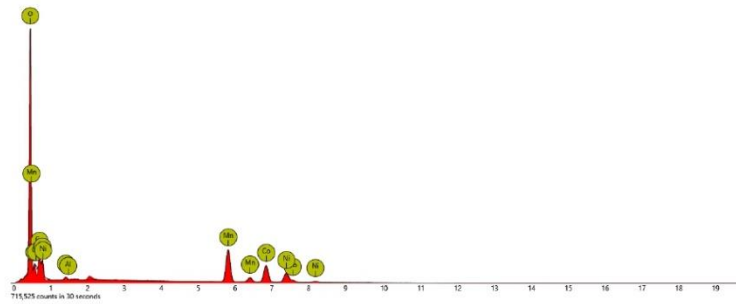
Image 3

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	65.31	34.65		
Mn	13.70	24.96		
Co	12.02	23.50		
Ni	8.42	16.40		
Al	0.55	0.49		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:48



Disabled elements: B



AA Libs

User name: PHENOM-WORLD-PC\Phenom-World
Contains 3 images with a total of 3 analyses

01. Image 1

1 analysis: 1x map

02. Edx 1

1 analysis: 1x region

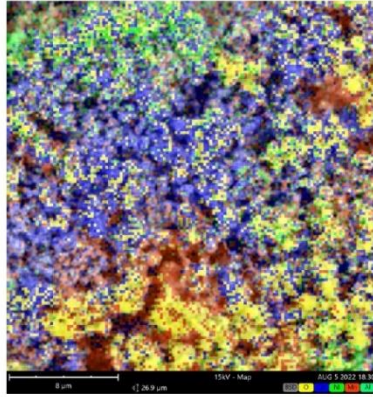
03. Image 3

1 analysis: 1x region

Image 1

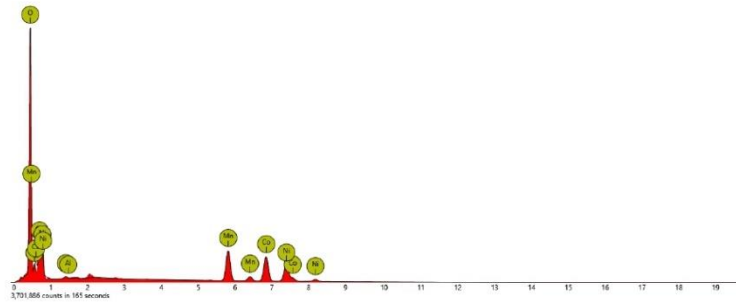
1. map

Combined map



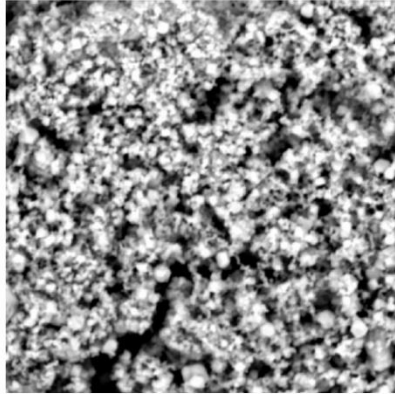
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	60.53	29.92		
Co	15.43	28.09		
Ni	12.63	22.92		
Mn	11.06	18.77		
Al	0.35	0.29		

FOV: 26.9 µm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:30

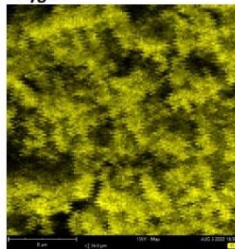


Disabled elements: B

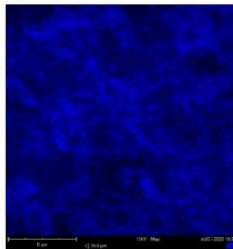
Cut out of map (resolution: 128x128 pixels)



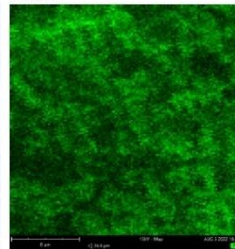
Oxygen



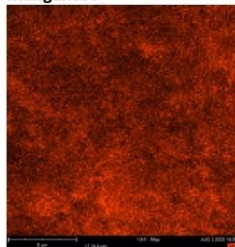
Cobalt



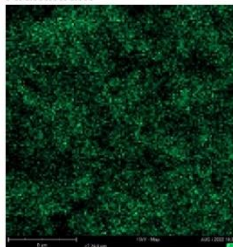
Nickel



Manganese

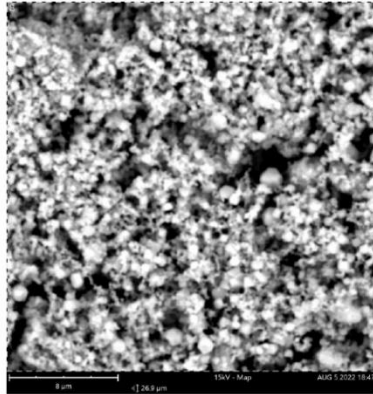


Aluminium



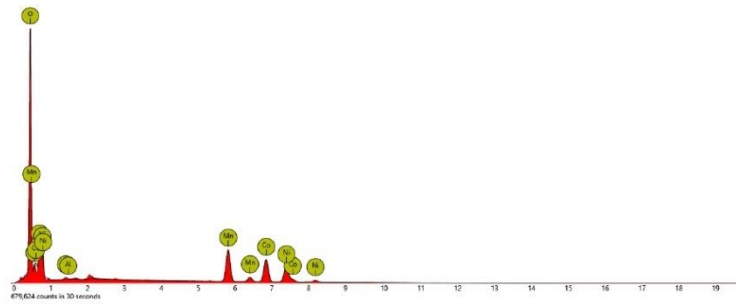
Edx 1

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	61.22	30.57		
Co	14.49	26.65		
Ni	12.17	22.29		
Mn	11.79	20.21		
Al	0.33	0.28		

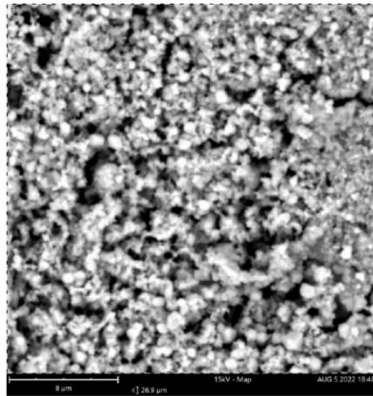
FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:47



Disabled elements: B

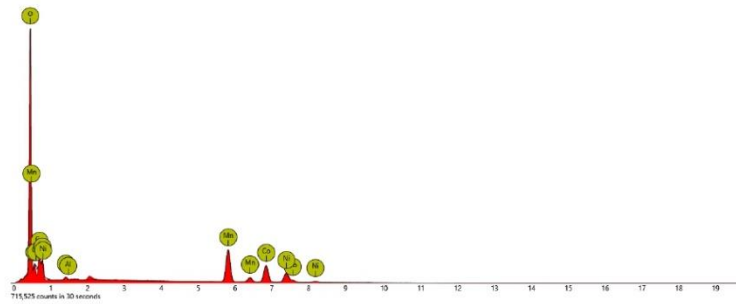
Image 3

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	65.31	34.65		
Mn	13.70	24.96		
Co	12.02	23.50		
Ni	8.42	16.40		
Al	0.55	0.49		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 18:48



Disabled elements: B



AA Komersil

User name: PHENOM-WORLD-PC\Phenom-World
Contains 3 images with a total of 3 analyses

01. Map

1 analysis: 1x map

02. Edx 1

1 analysis: 1x region

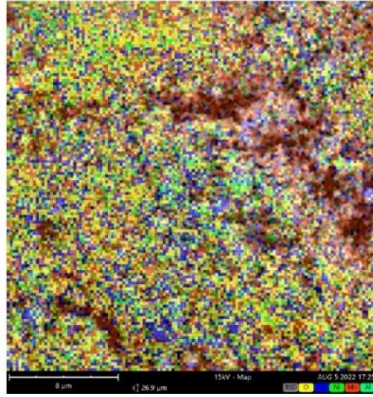
03. Edx 2

1 analysis: 1x region

Map

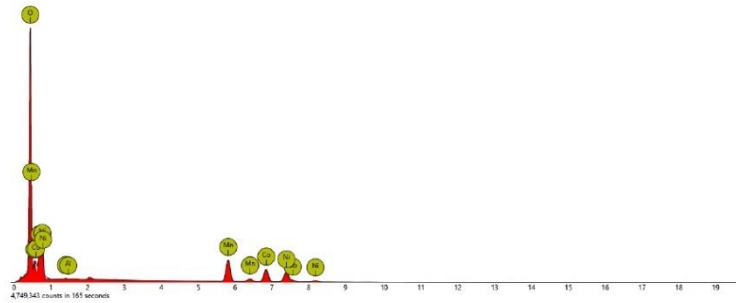
1. map

Combined map



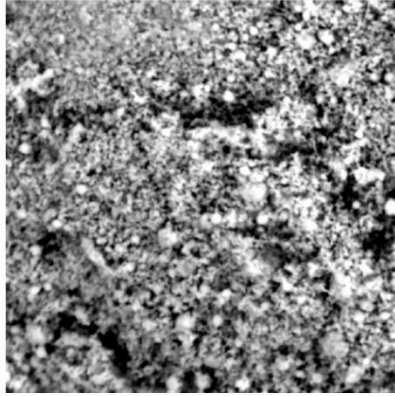
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	70.29	39.75		
Co	9.77	20.34		
Ni	9.66	20.03		
Mn	10.19	19.79		
Al	0.10	0.09		

FOV: 26.9 μm , Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 17:25

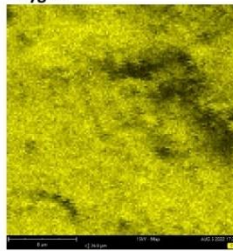


Disabled elements: B

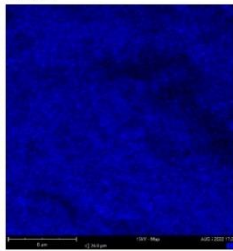
Cut out of map (resolution: 128x128 pixels)



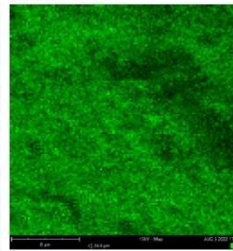
Oxygen



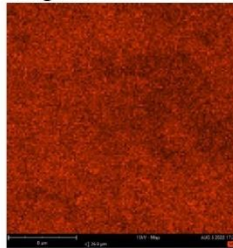
Cobalt



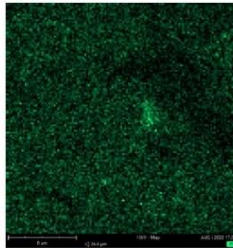
Nickel



Manganese

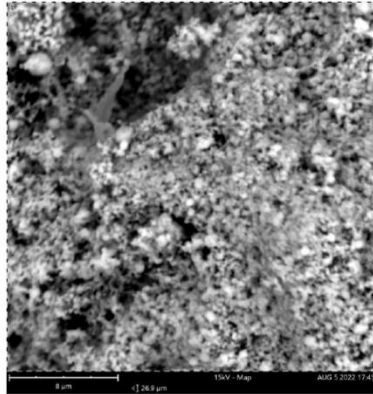


Aluminium



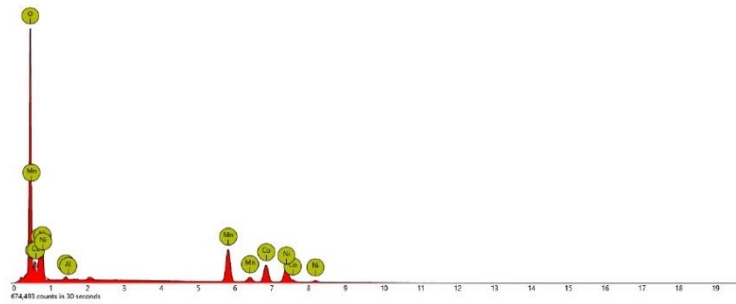
Edx 1

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	63.01	32.36		
Mn	13.04	22.99		
Ni	11.75	22.13		
Co	11.65	22.04		
Al	0.55	0.48		

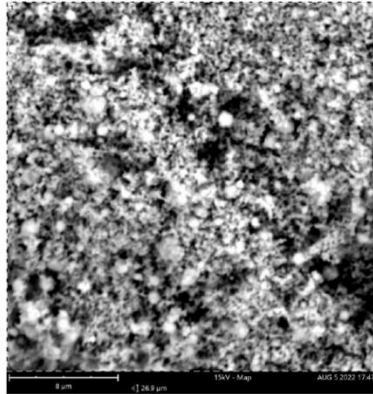
FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 17:45



Disabled elements: B

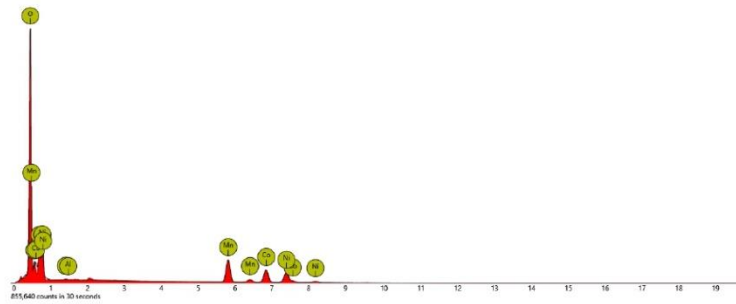
Edx 2

1. region



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	69.90	39.30		
Co	9.89	20.49		
Mn	10.39	20.06		
Ni	9.72	20.06		
Al	0.09	0.09		

FOV: 26.9 μm, Mode: 15kV - Map, Detector: BSD Full, Time: AUG 5 2022 17:47



Disabled elements: B

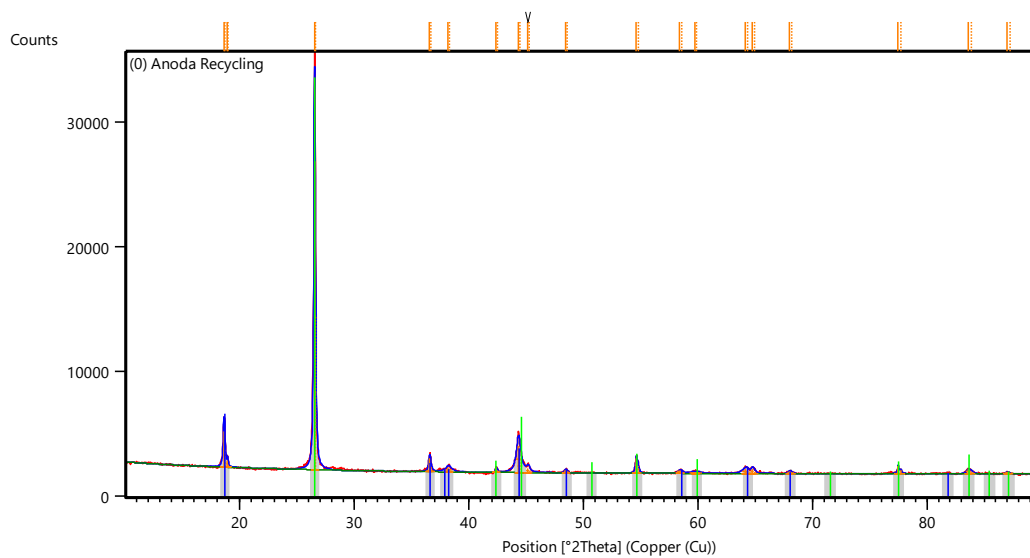
ANODA

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	(0) Anoda Recycling
File name	D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (0) Anoda Recycling.xrdml
Comment	Configuration=Stage for flat samples, Owner=User-1, Creation date=11/19/2013 1:45:18 PM
	Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size 2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001
	Sample stage=Stage for flat samples/holders
	Diffraction system=EMPYREAN
	Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\05-90-Pengukuran default.xrdmp, Identifier={173F9969- 6338-4F5E-82C6-FC8B1727F526}
Measurement Date / Time	14/07/2022 09:23:00
Operator	BATAN
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10,0234
End Position [°2Th.]	89,9734
Step Size [°2Th.]	0,0260
Scan Step Time [s]	36,4650
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	3,35
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0,5000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [°C]	25,00
Anode Material	Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011150754
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,608(1)	2835(43)	0,180(4)	4,76464	11,46
18,654(1)	1418(43)	0,180(4)	4,76464	5,73
18,906(3)	504(46)	0,10(1)	4,69015	2,04
18,953(3)	252(46)	0,10(1)	4,69015	1,02

26,5022(2)	24735(115)	0,156(1)	3,36054	100,00
26,5692(2)	12368(115)	0,156(1)	3,36054	50,00
36,554(4)	1083(53)	0,19(2)	2,45620	4,38
36,648(4)	541(53)	0,19(2)	2,45620	2,19
38,18(1)	346(18)	0,63(3)	2,35555	1,40
38,27(1)	173(18)	0,63(3)	2,35555	0,70
42,374(6)	365(32)	0,12(1)	2,13134	1,47
42,485(6)	182(32)	0,12(1)	2,13134	0,74
44,303(2)	2139(26)	0,419(6)	2,04293	8,65
44,419(2)	1069(26)	0,419(6)	2,04293	4,32
45,13(1)	359(33)	0,29(3)	2,00730	1,45
45,25(1)	179(33)	0,29(3)	2,00730	0,73
48,41(1)	218(17)	0,31(3)	1,87869	0,88
48,54(1)	109(17)	0,31(3)	1,87869	0,44
54,616(2)	1205(39)	0,190(8)	1,67905	4,87
54,763(2)	602(39)	0,190(8)	1,67905	2,44
58,41(1)	219(23)	0,38(5)	1,57877	0,89
58,57(1)	110(23)	0,38(5)	1,57877	0,44
59,72(3)	122(9)	0,94(9)	1,54717	0,49
59,88(3)	61(9)	0,94(9)	1,54717	0,25
64,12(1)	359(18)	0,60(5)	1,45124	1,45
64,30(1)	180(18)	0,60(5)	1,45124	0,73
64,741(9)	376(29)	0,25(3)	1,43875	1,52
64,922(9)	188(29)	0,25(3)	1,43875	0,76
67,99(2)	179(16)	0,34(4)	1,37771	0,73
68,18(2)	90(16)	0,34(4)	1,37771	0,36
77,476(4)	620(30)	0,17(1)	1,23099	2,51
77,704(4)	310(30)	0,17(1)	1,23099	1,25
83,60(1)	345(24)	0,38(5)	1,15569	1,40
83,85(1)	173(24)	0,38(5)	1,15569	0,70
86,97(3)	122(22)	0,4(1)	1,11938	0,49
87,24(3)	61(22)	0,4(1)	1,11938	0,25

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-052-0457	67	Lithium Nickel Manganese Oxide	0,000	0,119	Li _{1.15} (Mn _x Ni _{1-x}) _{0.85} O ₂
*	01-089-8487	52	Carbon	0,000	0,880	C

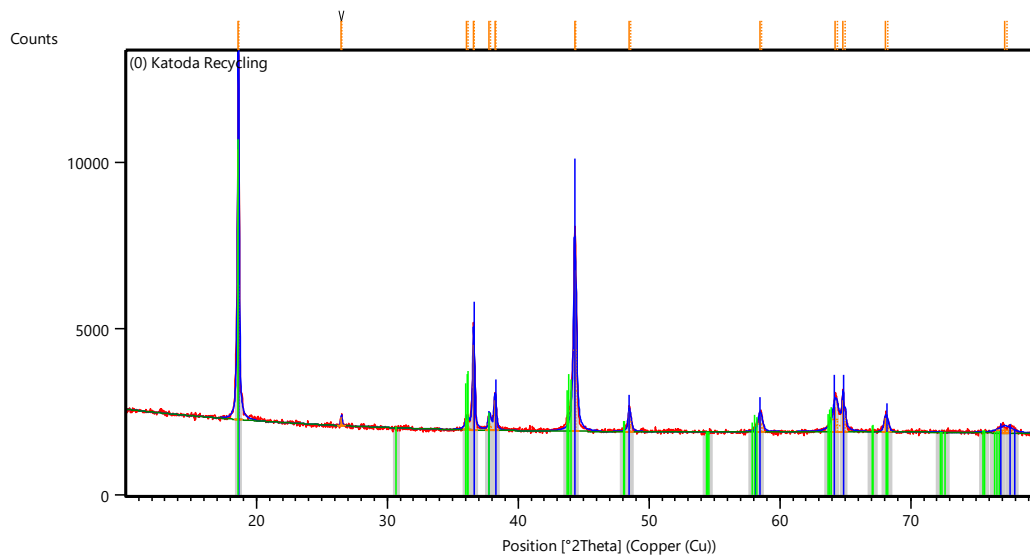
KATODA

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	(0) Katoda Recycling
File name	D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (0) Katoda Recycling.xrdml
Comment	Configuration=Stage for flat samples, Owner=User-1, Creation date=11/19/2013 1:45:18 PM
	Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size 2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001
	Sample stage=Stage for flat samples/holders
	Diffraction system=EMPYREAN
	Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\05-90-Pengukuran default.xrdmp, Identifier={D215FED8- A9FD-444E-95D4-903D68860BC3}
Measurement Date / Time	14/07/2022 09:13:57
Operator	BATAN
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10,0131
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	79,9791
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0260
Scan Step Time [s]	36,4650
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.]	3,35
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0,5000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	25,00
Anode Material	Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011150754
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,6021(5)	8121(81)	0,137(2)	4,76605	100,00
18,6488(5)	4061(81)	0,137(2)	4,76605	50,00
26,483(7)	251(35)	0,12(3)	3,36292	3,09

26,550(7)	126(35)	0,12(3)	3,36292	1,55
36,08(1)	274(21)	0,29(3)	2,48766	3,37
36,17(1)	137(21)	0,29(3)	2,48766	1,69
36,577(1)	2564(57)	0,146(5)	2,45473	31,57
36,671(1)	1282(57)	0,146(5)	2,45473	15,78
37,798(8)	382(31)	0,21(2)	2,37822	4,70
37,895(8)	191(31)	0,21(2)	2,37822	2,35
38,220(3)	897(44)	0,17(1)	2,35292	11,04
38,318(3)	448(44)	0,17(1)	2,35292	5,52
44,3100(9)	4845(69)	0,194(4)	2,04262	59,66
44,4259(9)	2423(69)	0,194(4)	2,04262	29,83
48,487(4)	616(38)	0,18(1)	1,87596	7,59
48,615(4)	308(38)	0,18(1)	1,87596	3,79
58,455(8)	458(29)	0,34(3)	1,57758	5,64
58,615(8)	229(29)	0,34(3)	1,57758	2,82
64,222(6)	740(21)	0,49(3)	1,44912	9,11
64,401(6)	370(21)	0,49(3)	1,44912	4,55
64,823(3)	953(37)	0,16(1)	1,43714	11,73
65,004(3)	476(37)	0,16(1)	1,43714	5,87
68,078(7)	428(25)	0,29(3)	1,37613	5,27
68,271(7)	214(25)	0,29(3)	1,37613	2,64
77,15(3)	153(10)	1,2(1)	1,23531	1,89
77,38(3)	77(10)	1,2(1)	1,23531	0,94

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-088-1606	85	Lithium Nickel Oxide	0,000	0,928	Li.65 Ni1.08 O2
*	01-088-0544	36	Lithium Manganese Oxide	0,000	0,629	Li1.13 Mn2 O4

COKLAT AA KOMERSIL

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name (1) Coklat AA Komersil

File name D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (1) Coklat AA Komersil .xrdml

Comment Configuration=Stage for flat samples,
Owner=User-1, Creation date=11/19/2013 1:45:18 PM

Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size
2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001

Sample stage=Stage for flat samples/holders

Diffraction system=EMPYREAN

Measurement program=C:\PANalytical\Data
Collector\Programs\05-90-Pengukuran default.xrdmp, Identifier={B5BFC07B-
29B6-4F4F-A900-B9B73C6A7AA2}

Measurement Date / Time 10/08/2022 11:20:46

Operator BATAN

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 10,0024

End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 79,9684

Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0260

Scan Step Time [s] 36,4650

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [$^{\circ}2\text{Th.}$] 3,35

Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 0,5000

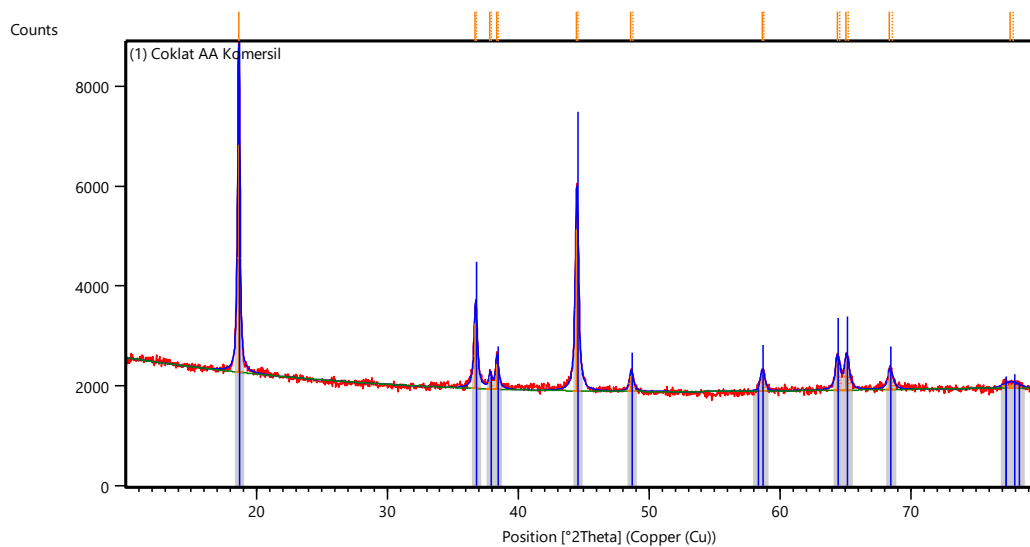
Specimen Length [mm] 10,00

Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] 25,00

Anode Material Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011150754
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,6246(7)	4552(42)	0,207(2)	4,76036	100,00
18,6713(7)	2276(42)	0,207(2)	4,76036	50,00
36,723(3)	1305(37)	0,25(1)	2,44530	28,68
36,818(3)	653(37)	0,25(1)	2,44530	14,34
37,83(1)	244(42)	0,18(5)	2,37596	5,36
37,93(1)	122(42)	0,18(5)	2,37596	2,68
38,360(6)	505(33)	0,24(3)	2,34461	11,09
38,459(6)	252(33)	0,24(3)	2,34461	5,54

44,454(1)	3235(50)	0,234(7)	2,03635	71,08
44,570(1)	1618(50)	0,234(7)	2,03635	35,54
48,618(8)	318(25)	0,31(4)	1,87121	6,99
48,747(8)	159(25)	0,31(4)	1,87121	3,49
58,628(9)	327(21)	0,38(3)	1,57335	7,18
58,787(9)	163(21)	0,38(3)	1,57335	3,59
64,368(6)	548(31)	0,32(3)	1,44620	12,05
64,547(6)	274(31)	0,32(3)	1,44620	6,02
65,062(7)	558(31)	0,33(3)	1,43243	12,27
65,244(7)	279(31)	0,33(3)	1,43243	6,13
68,382(9)	334(28)	0,36(6)	1,37076	7,34
68,575(9)	167(28)	0,36(6)	1,37076	3,67
77,57(5)	83(10)	1,3(1)	1,22969	1,83
77,80(5)	42(10)	1,3(1)	1,22969	0,92

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	77	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,765	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

HITAM AA KOMERSIL

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name (2) Hitam AA Komersil

File name D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (2) Hitam AA Komersil .xrml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffraction system=XPRT-PRO

Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Scan 10-80.xrdmp, Identifier={FC41F1D1-201C-4E33-97FD-BDF3F79D784B}

Measurement Date / Time 16/08/2022 07:53:24

Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}$ 2Th.] 10,0084

End Position [$^{\circ}$ 2Th.] 79,9804

Step Size [$^{\circ}$ 2Th.] 0,0170

Scan Step Time [s] 10,1600

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.] 2,12

Offset [$^{\circ}$ 2Th.] 0,0000

Divergence Slit Type Fixed

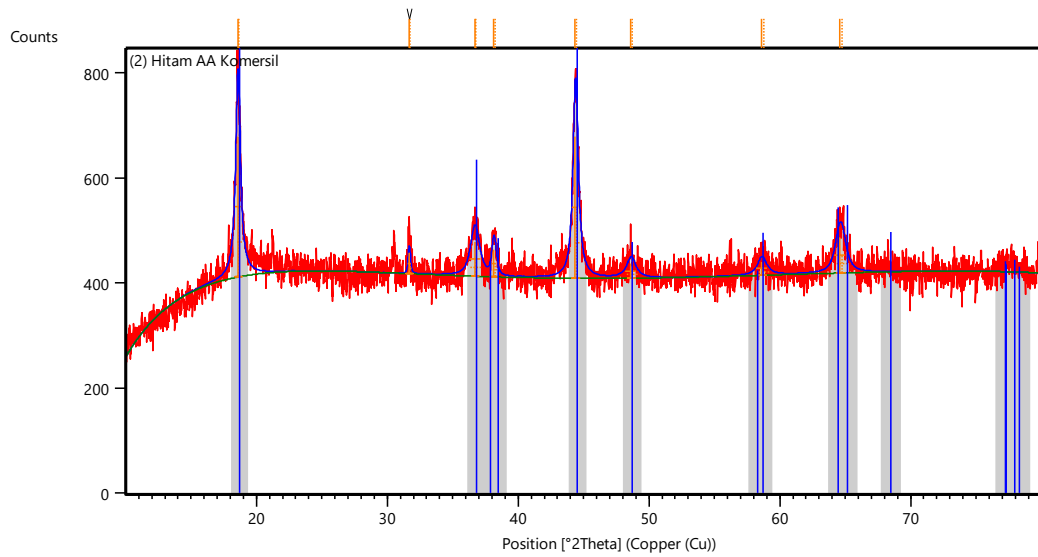
Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 1,0000

Specimen Length [mm] 10,00

Measurement Temperature [$^{\circ}$ C] 25,00

Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011119014
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,586(4)	267(7)	0,43(1)	4,77023	98,98
18,632(4)	133(7)	0,43(1)	4,77023	49,49
31,66(2)	40(9)	0,20(8)	2,82361	14,66
31,74(2)	20(9)	0,20(8)	2,82361	7,33
36,68(2)	66(4)	0,82(7)	2,44818	24,35
36,77(2)	33(4)	0,82(7)	2,44818	12,18

38,14(2)	51(6)	0,40(7)	2,35781	18,94
38,24(2)	26(6)	0,40(7)	2,35781	9,47
44,367(5)	270(9)	0,45(2)	2,04013	100,00
44,483(5)	135(9)	0,45(2)	2,04013	50,00
48,60(5)	27(4)	0,8(2)	1,87179	10,12
48,73(5)	14(4)	0,8(2)	1,87179	5,06
58,59(6)	25(4)	0,8(3)	1,57425	9,13
58,75(6)	12(4)	0,8(3)	1,57425	4,57
64,59(2)	67(4)	0,88(7)	1,44181	25,01
64,77(2)	34(4)	0,88(7)	1,44181	12,51

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	65	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,703	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

COKLAT NA KOMERSIL

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name (3) Coklat NA Komersil

File name D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (3) Coklat NA Komersil .xrdml

Comment Configuration=Stage for flat samples,
Owner=User-1, Creation date=11/19/2013 1:45:18 PM

Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size
2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001

Sample stage=Stage for flat samples/holders

Diffraction system=EMPYREAN

Measurement program=C:\PANalytical\Data
Collector\Programs\05-90-Pengukuran default.xrdmp, Identifier={B5BFC07B-
29B6-4F4F-A900-B9B73C6A7AA2}

Measurement Date / Time 10/08/2022 11:30:17

Operator BATAN

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 10,0024

End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 79,9684

Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0260

Scan Step Time [s] 36,4650

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [$^{\circ}2\text{Th.}$] 3,35

Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 0,5000

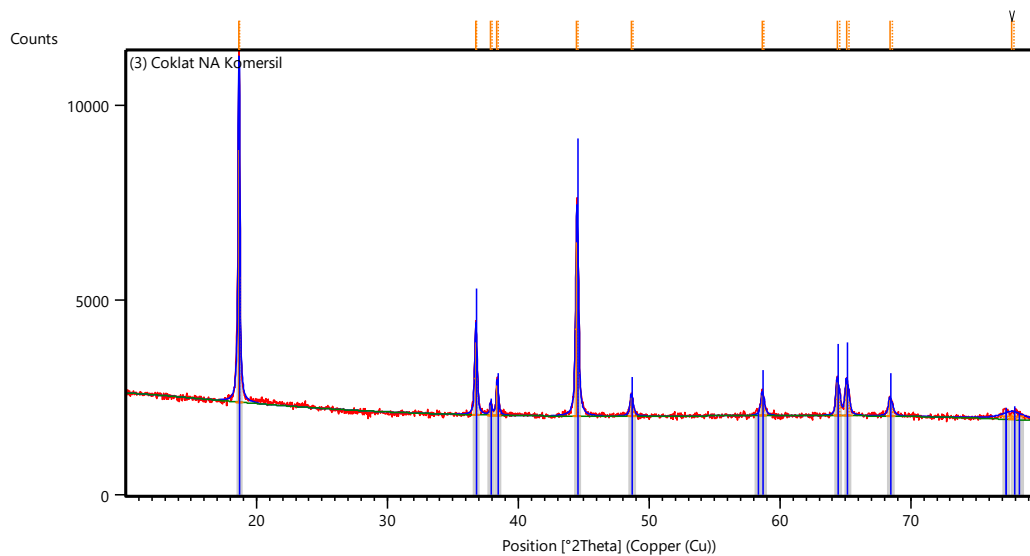
Specimen Length [mm] 10,00

Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] 25,00

Anode Material Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011150754
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,6389(5)	6467(67)	0,148(2)	4,75673	100,00
18,6856(5)	3234(67)	0,148(2)	4,75673	50,00
36,739(1)	1869(45)	0,179(7)	2,44430	28,90
36,833(1)	934(45)	0,179(7)	2,44430	14,45
37,87(1)	246(45)	0,14(4)	2,37354	3,81
37,97(1)	123(45)	0,14(4)	2,37354	1,90
38,380(3)	771(45)	0,15(2)	2,34347	11,93
38,479(3)	386(45)	0,15(2)	2,34347	5,96

44,4666(8)	4461(56)	0,196(3)	2,03579	68,98
44,5830(8)	2231(56)	0,196(3)	2,03579	34,49
48,624(6)	462(37)	0,23(3)	1,87101	7,14
48,752(6)	231(37)	0,23(3)	1,87101	3,57
58,625(5)	527(34)	0,23(2)	1,57340	8,16
58,785(5)	264(34)	0,23(2)	1,57340	4,08
64,368(4)	851(34)	0,23(1)	1,44619	13,16
64,547(4)	426(34)	0,23(1)	1,44619	6,58
65,074(4)	800(33)	0,26(2)	1,43220	12,38
65,256(4)	400(33)	0,26(2)	1,43220	6,19
68,389(7)	420(30)	0,26(3)	1,37062	6,49
68,583(7)	210(30)	0,26(3)	1,37062	3,25
77,68(4)	145(8)	1,9(2)	1,22825	2,24
77,91(4)	72(8)	1,9(2)	1,22825	1,12

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	73	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,762	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

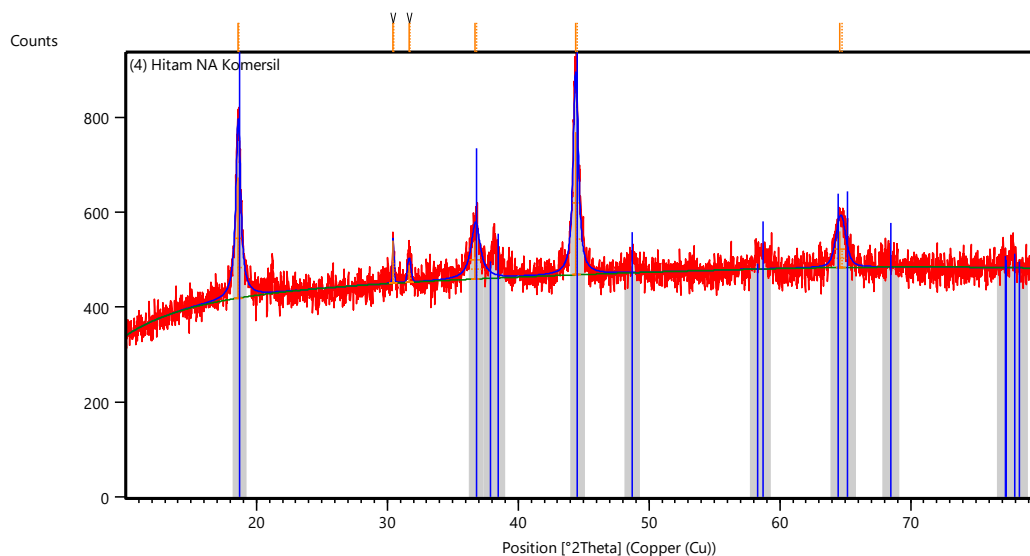
HITAM NA KOMERSIL

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	(4) Hitam NA Komersil
File name	D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (4) Hitam NA Komersil .xrdml
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
	Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1
	Diffraction system=XPRT-PRO
	Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Scan 10-80.xrdmp, Identifier={FC41F1D1-201C-4E33-97FD-BDF3F79D784B}
Measurement Date / Time	16/08/2022 08:15:56
Operator	Institut Teknologi
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10,0084
End Position [°2Th.]	79,9804
Step Size [°2Th.]	0,0170
Scan Step Time [s]	10,1600
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2,12
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [°C]	25,00

Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011119014
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,600(5)	254(7)	0,44(2)	4,76657	84,48
18,647(5)	127(7)	0,44(2)	4,76657	42,24
30,438(7)	91(13)	0,06(2)	2,93439	30,13
30,515(7)	45(13)	0,06(2)	2,93439	15,06
31,66(2)	36(6)	0,29(7)	2,82403	12,06
31,74(2)	18(6)	0,29(7)	2,82403	6,03

36,72(2)	81(4)	0,81(6)	2,44535	26,85
36,82(2)	40(4)	0,81(6)	2,44535	13,43
44,374(6)	301(11)	0,45(2)	2,03982	100,00
44,490(6)	150(11)	0,45(2)	2,03982	50,00
64,60(2)	76(4)	0,86(7)	1,44148	25,42
64,78(2)	38(4)	0,86(7)	1,44148	12,71

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	70	Li Co _{0.333} Ni _{0.333} Mn _{0.333} O ₂	0,000	0,790	Li _{3.00} Co _{1.00} Ni _{1.00} Mn _{1.00} O _{6.00}

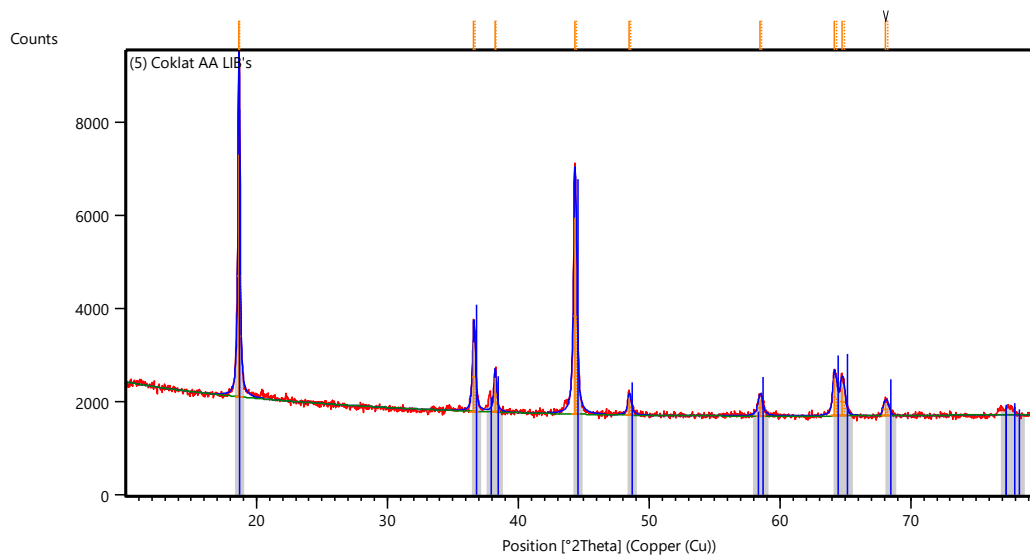
COKLAT AA LIB's

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	(5) Coklat AA LIB's
File name	D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (5) Coklat AA LIB's .xrdml
Comment	Configuration=Stage for flat samples, Owner=User-1, Creation date=11/19/2013 1:45:18 PM
	Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size 2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001
	Sample stage=Stage for flat samples/holders
	Diffraction system=EMPYREAN
	Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\05-90-Pengukuran default.xrdmp, Identifier={B5BFC07B- 29B6-4F4F-A900-B9B73C6A7AA2}
Measurement Date / Time	10/08/2022 11:39:21
Operator	BATAN
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10,0024
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	79,9684
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0260
Scan Step Time [s]	36,4650
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.]	3,35
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0,5000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	25,00
Anode Material	Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011150754
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,6429(6)	5205(47)	0,182(2)	4,75571	100,00
18,6897(6)	2603(47)	0,182(2)	4,75571	50,00
36,595(2)	1471(32)	0,228(8)	2,45360	28,26
36,689(2)	736(32)	0,228(8)	2,45360	14,13
38,217(4)	731(48)	0,19(2)	2,35309	14,05
38,315(4)	366(48)	0,19(2)	2,35309	7,02
44,3167(8)	4223(49)	0,227(4)	2,04232	81,12
44,4327(8)	2111(49)	0,227(4)	2,04233	40,56

48,468(7)	372(30)	0,26(4)	1,87666	7,14
48,596(7)	186(30)	0,26(4)	1,87666	3,57
58,454(8)	364(24)	0,37(3)	1,57760	7,00
58,614(8)	182(24)	0,37(3)	1,57760	3,50
64,152(5)	799(33)	0,29(2)	1,45054	15,35
64,330(5)	399(33)	0,29(2)	1,45054	7,67
64,727(6)	606(22)	0,39(2)	1,43903	11,64
64,908(6)	303(22)	0,39(2)	1,43903	5,82
68,06(1)	264(15)	0,42(3)	1,37651	5,06
68,25(1)	132(15)	0,42(3)	1,37651	2,53

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	43	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,645	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

HITAM AA LIB's

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name (6) Hitam AA LIB's

File name D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (6) Hitam AA LIB's .xrdml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffractometer system=XPERT-PRO

Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Scan 10-80.xrdmp, Identifier={FC41F1D1-201C-4E33-97FD-BDF3F79D784B}

Measurement Date / Time 16/08/2022 08:24:58

Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 10,0084

End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 79,9804

Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0170

Scan Step Time [s] 10,1600

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [$^{\circ}2\text{Th.}$] 2,12

Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 1,0000

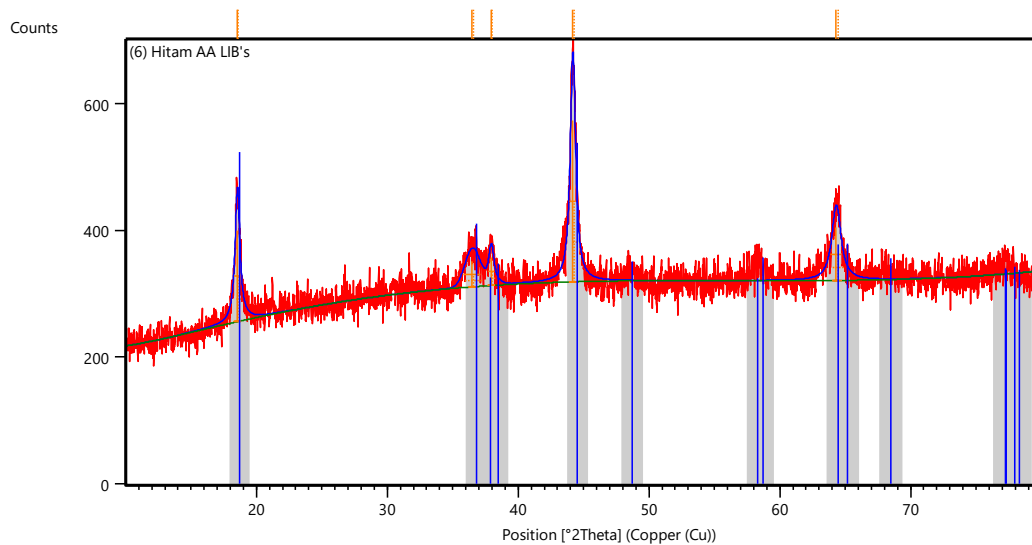
Specimen Length [mm] 10,00

Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] 25,00

Anode Material Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011119014
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,540(6)	143(5)	0,44(2)	4,78184	56,35
18,587(6)	72(5)	0,44(2)	4,78184	28,17
36,48(4)	40(3)	1,35(9)	2,46093	15,66
36,58(4)	20(3)	1,35(9)	2,46093	7,83
37,93(3)	45(6)	0,47(9)	2,37024	17,57
38,03(3)	22(6)	0,47(9)	2,37024	8,78
44,158(5)	254(7)	0,46(2)	2,04930	100,00
44,273(5)	127(7)	0,46(2)	2,04930	50,00

64,27(2)	83(4)	0,79(7)	1,44818	32,60
64,45(2)	41(4)	0,79(7)	1,44818	16,30

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	50	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,380	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

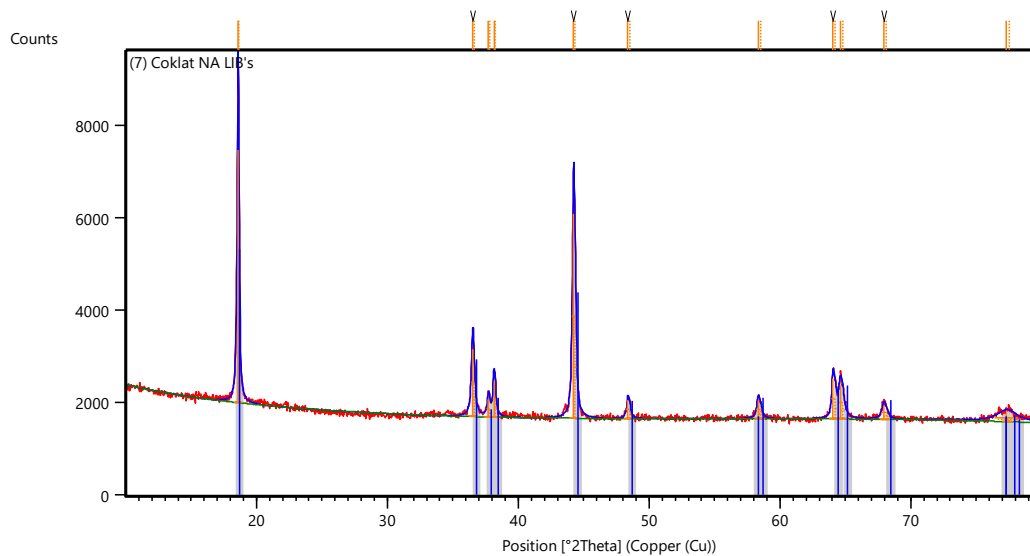
COKLAT NA LIB's

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	(7) Coklat NA LIB's
File name	D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (7) Coklat NA LIB's .xrdml
Comment	Configuration=Stage for flat samples, Owner=User-1, Creation date=11/19/2013 1:45:18 PM
	Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size 2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001
	Sample stage=Stage for flat samples/holders
	Diffraction system=EMPYREAN
	Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\05-90-Pengukuran default.xrdmp, Identifier={B5BFC07B- 29B6-4F4F-A900-B9B73C6A7AA2}
Measurement Date / Time	10/08/2022 11:49:11
Operator	BATAN
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10,0024
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	79,9684
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0260
Scan Step Time [s]	36,4650
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.]	3,35
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0,5000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	25,00
Anode Material	Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011150754
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,5809(6)	5469(54)	0,164(2)	4,77144	100,00
18,6275(6)	2735(54)	0,164(2)	4,77144	50,00
36,516(2)	1462(37)	0,22(1)	2,45868	26,72
36,610(2)	731(37)	0,22(1)	2,45868	13,36
37,718(7)	376(36)	0,20(3)	2,38305	6,88
37,815(7)	188(36)	0,20(3)	2,38305	3,44
38,147(3)	787(36)	0,20(2)	2,35721	14,39
38,246(3)	393(36)	0,20(2)	2,35721	7,19

44,2296(8)	4429(52)	0,215(4)	2,04615	80,98
44,3453(8)	2215(52)	0,215(4)	2,04615	40,49
48,381(6)	406(34)	0,22(4)	1,87982	7,42
48,509(6)	203(34)	0,22(4)	1,87982	3,71
58,345(8)	407(34)	0,30(3)	1,58028	7,44
58,504(8)	204(34)	0,30(3)	1,58028	3,72
64,063(4)	875(33)	0,23(1)	1,45234	16,00
64,241(4)	438(33)	0,23(1)	1,45234	8,00
64,620(5)	727(29)	0,34(3)	1,44115	13,30
64,801(5)	364(29)	0,34(3)	1,44115	6,65
67,93(1)	301(26)	0,36(6)	1,37880	5,50
68,12(1)	150(26)	0,36(6)	1,37880	2,75
77,29(3)	179(8)	1,8(1)	1,23350	3,26
77,52(3)	89(8)	1,8(1)	1,23350	1,63

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	31	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,345	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

HITAM NA LIB'S

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name (8) Hitam NA LIB's

File name D:\aan\TUGAS AKHIRR!\Flame Assisted Spray Pyrolysis\Analisis dan Karakterisasi\4. XRD_FASP\ (8) Hitam NA LIB's .xrdml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffractometer system=XPERT-PRO

Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Scan 10-80.xrdmp, Identifier={FC41F1D1-201C-4E33-97FD-BDF3F79D784B}

Measurement Date / Time 16/08/2022 07:44:02

Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 10,0084

End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 79,9804

Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0170

Scan Step Time [s] 10,1600

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [$^{\circ}2\text{Th.}$] 2,12

Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0,0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 1,0000

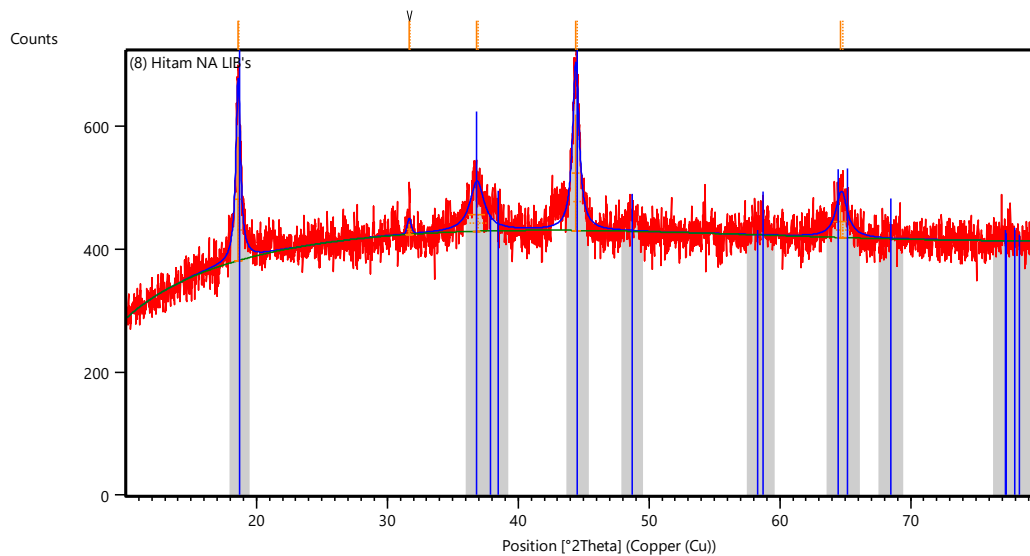
Specimen Length [mm] 10,00

Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] 25,00

Anode Material Cu

K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011119014
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,592(5)	201(7)	0,42(2)	4,76864	100,00
18,639(5)	101(7)	0,42(2)	4,76864	50,00
31,65(5)	17(5)	0,3(1)	2,82435	8,54
31,73(5)	9(5)	0,3(1)	2,82435	4,27
36,83(3)	55(4)	1,29(9)	2,43872	27,19
36,92(3)	27(4)	1,29(9)	2,43872	13,60
44,380(7)	189(6)	0,57(3)	2,03957	93,87
44,496(7)	94(6)	0,57(3)	2,03957	46,93

64,65(3)	52(4)	1,0(1)	1,44050	25,78
64,83(3)	26(4)	1,0(1)	1,44050	12,89

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-400-2444	43	Li Co0.333 Ni0.333 Mn0.333 O2	0,000	0,723	Li3.00 Co1.00 Ni1.00 Mn1.00 O6.00

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN

1. *Leaching* Asam Nitrat
 - a. Pengenceran HNO₃ 0,25 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 16,538 = 96 \text{ mL} \cdot 0,25$$
$$V_1 = 1,45 \text{ mL}$$
 - b. Pengenceran HNO₃ 0,5 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 16,538 = 96 \text{ mL} \cdot 0,5$$
$$V_1 = 2,90 \text{ mL}$$
 - c. Pengenceran HNO₃ 0,75 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 16,538 = 96 \text{ mL} \cdot 0,75$$
$$V_1 = 4,35 \text{ mL}$$
 - d. Pengenceran HNO₃ 1 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 16,538 = 96 \text{ mL} \cdot 1$$
$$V_1 = 5,8 \text{ mL}$$
 - e. Pengenceran HNO₃ 1,25 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 16,538 = 96 \text{ mL} \cdot 0,75$$
$$V_1 = 7,25 \text{ mL}$$

2. *Leaching* Asam Asetat
 - a. Pengenceran C₂H₄O₂ 0,25 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 17,318 = 96 \text{ mL} \cdot 0,25$$
$$V_1 = 1,38 \text{ mL}$$
 - b. Pengenceran C₂H₄O₂ 0,5 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 17,318 = 96 \text{ mL} \cdot 0,5$$
$$V_1 = 2,77 \text{ mL}$$
 - c. Pengenceran C₂H₄O₂ 0,75 M
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 17,318 = 96 \text{ mL} \cdot 0,75$$
$$V_1 = 4,15 \text{ mL}$$

- d. Pengenceran $C_2H_4O_2$ 1 M
 $V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$
 $V_1 \cdot 17,318 = 96 \text{ mL} \cdot 1 \text{ M}$
 $V_1 = 5,54 \text{ mL}$
- e. Pengenceran $C_2H_4O_2$ 1,25 M
 $V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$
 $V_1 \cdot 17,318 = 96 \text{ mL} \cdot 1,25$
 $V_1 = 6,92 \text{ mL}$
3. % *Leaching* HNO_3
- *Leaching Efficiency* (%) =
$$\frac{\text{Konsentrasi logam dalam larutan Leaching} \times \text{Dilution}}{\text{Konsentrasi logam dalam larutan Leaching} \times \text{Dilution} + \text{Konsentrasi logam dalam residu}} \times 100$$
 - *Konsentrasi residu* =
$$\frac{\text{berat residu} \times 1000 \times \text{Presentase logam dalam serbuk}}{\text{Volume Leaching}} \times 1000$$
- a. Variasi Konsentrasi Asam HNO_3
- $$\text{Konsentrasi residu (Ni)} = \frac{0,5 \text{ gr} \times 1000 \times 22,5228 \%}{\frac{100 \text{ ml}}{1000}}$$
- $$= 112614 \text{ ppm}$$
- $$\text{Leaching Efficiency Ni(\%)} = \frac{953,70 \text{ ppm} \times 50}{(953,70 \text{ ppm} \times 50) + 112614 \text{ ppm}} \times 100$$
- $$= 29,7\%$$

Tabel B.1 Hasil Perhitungan % Efisiensi *Leaching* HNO_3
 Variasi Konsentrasi Asam

% Efisiensi <i>Leaching</i> Variasi Konsentrasi Asam HNO_3			
Sampel	Ni	Mn	Co
<i>Nitric Acid</i> (NA) 0,25 M	29,7%	60,3%	27,5%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 0,5 M	62,5%	86,7%	65,1%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 0,75 M	99,6%	99,6%	99,3%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 1 M	99,3%	99,5%	99,2%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 1,25 M	99,4%	99,5%	99,3%

b. Variasi *Solid to liquid ratio* (S/L)

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi residu (Ni)} &= \frac{0,5 \text{ gr} \times 1000 \times 0,2569 \%}{\frac{100 \text{ ml}}{1000}} \\ &= 12845 \text{ ppm} \\ \text{Leaching Efficiency Ni(\%)} &= \frac{1953,90 \text{ ppm} \times 50}{(1953,90 \text{ ppm} \times 50) + 12845 \text{ ppm}} \times 100 \\ &= 98,7\% \end{aligned}$$

Tabel B.2 Hasil Perhitungan % Efisiensi *Leaching* HNO₃
Variasi *Solid to Liquid ratio*

% Efisiensi <i>Leaching</i> Variasi Konsentrasi <i>Solid to Liquid ratio</i>			
Sampel	Ni	Mn	Co
<i>Nitric Acid</i> (NA) 10 gr/L	98,7%	99,2%	98,9%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 15 gr/L	98,8%	98,9%	98,8%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 20 gr/L	99,2%	99,1%	98,4%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 25 gr/L	74,3%	87,7%	65,8%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 30 gr/L	70,3%	83,3%	58,6%

c. Variasi Temperatur

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi residu (Ni)} &= \frac{0,5 \text{ gr} \times 1000 \times 4,584 \%}{\frac{100 \text{ ml}}{1000}} \\ &= 22920,5 \text{ ppm} \\ \text{Leaching Efficiency Ni(\%)} &= \frac{5060 \text{ ppm} \times 50}{(5060 \text{ ppm} \times 50) + 22920,5 \text{ ppm}} \times 100 \\ &= 91,7\% \end{aligned}$$

Tabel B.3 Hasil Perhitungan % Efisiensi *Leaching* HNO₃
Variasi Temperatur

% Efisiensi <i>Leaching</i> Variasi Konsentrasi Temperatur			
Sampel	Ni	Mn	Co
<i>Nitric Acid</i> (NA) 40°C	91,7%	96,0%	66,9%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 50°C	99,0%	99,7%	99,6%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 60°C	99,3%	99,4%	98,4%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 70°C	99,5%	99,5%	97,0%
<i>Nitric Acid</i> (NA) 80°C	83,5%	90,0%	66,1%

4. *Leaching* CH₃COOH

- *Leaching Efficiency* (%) =
$$\frac{\text{Konsentrasi logam dalam larutan Leaching} \times \text{Dilution factor}}{\text{Konsentrasi logam awal} \times \text{Dilution factor}} \times 100$$

a. Variasi Konsentrasi Asam CH₃COOH

$$\begin{aligned} \text{Leaching Efficiency Li (\%)} &= \frac{11,7899 \text{ mg/L} \times 50}{31,1674 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50} \times 100 \\ &= 37,83\% \end{aligned}$$

Tabel B.4 Hasil Perhitungan % Efisiensi *Leaching* CH₃COOH Variasi Konsentrasi Asam

% Efisiensi <i>Leaching</i> Variasi Konsentrasi Asam CH₃COOH				
Sampel	Li	Ni	Mn	Co
<i>Acetic Acid</i> (AA) 0,25 M	37,83%	21,70%	32,52%	26,65%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 0,5 M	50,96%	33,51%	41,55%	41,31%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 0,75 M	56,08%	41,58%	48,49%	52,33%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 1 M	56,52%	43,74%	47,83%	54,94%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 1,25 M	87,16%	64,34%	82,89%	99,24%

b. Variasi *Solid to liquid ratio* (S/L)

$$\begin{aligned} \text{Leaching Efficiency Li (\%)} &= \frac{12,455 \text{ mg/L} \times 50}{31,1674 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50} \times 100 \\ &= 39,96\% \end{aligned}$$

Tabel B.5 Hasil Perhitungan % Efisiensi *Leaching* CH₃COOH Variasi *Solid to Liquid ratio*

% Efisiensi <i>Leaching</i> Variasi <i>Solid to Liquid ratio</i> (S/L)				
Sampel	Li	Ni	Mn	Co
<i>Acetic Acid</i> (AA) 10 gr/L	39,96%	30,20%	31,10%	41,81%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 15 gr/L	56,24%	41,76%	46,34%	53,50%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 20 gr/L	56,08%	41,58%	48,49%	52,33%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 25 gr/L	62,00%	41,18%	54,72%	49,78%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 30 gr/L	71,18%	46,34%	65,09%	56,72%

c. Variasi Temperatur

$$\begin{aligned} \text{Leaching Efficiency Li (\%)} &= \frac{18,436 \text{ mg/L} \times 50}{31,1674 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50} \times 100 \\ &= 59,16\% \end{aligned}$$

Tabel B.6 Hasil Perhitungan % Efisiensi Leaching CH_3COOH Variasi Temperatur

% Efisiensi <i>Leaching</i> Variasi Temperatur				
Sampel	Li	Ni	Mn	Co
<i>Acetic Acid</i> (AA) 40°C	59,16%	44,11%	51,08%	54,91%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 50°C	59,06%	43,74%	50,37%	55,31%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 60°C	56,08%	41,58%	48,49%	52,33%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 70°C	58,75%	41,84%	48,61%	51,98%
<i>Acetic Acid</i> (AA) 80°C	63,13%	45,50%	52,77%	58,45%

5. Molarity Adjustment Leaching Optimum Nitric Acid

Tabel B.7 Rangkuman *Molarity Adjustment Leaching Optimum Nitric Acid*

Metal	$\text{Li}^+_{(\text{aq})}$	$x \text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$	$y \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$	$z \text{Co}^{2+}_{(\text{aq})}$	Keterangan
Perbandingan Mol Formula NMC 111	1,1	0,3	0,3	0,3	
Jumlah mol metal hasil <i>leaching</i>	0,18651203	0,07978847	0,07484309	0,0476638	kondisi leaching optimum Nitric Acid
mol Metal yang harus ditambahkan Li sebagai basis	0	-0,0289216	-0,0239762	0,0032031	diperlukan penambahan Co^{2+} sebesar 0,003203 mol yang setara dengan 0,08972 gram Co^{2+} dan dapat diperoleh dengan penambahan 0,9322239 gram Co-nitrate hexahidrate
mol Metal yang harus ditambahkan Ni sebagai basis	0,10604571	0	0,00494538	0,0321247	diperlukan penambahan Li^+ sebesar 0,10604571 mol, diperlukan penambahan Ni^{2+} sebesar 0,00494538366718029 mol dan penambahan Co^{2+} sebesar 0,0321246868851643 mol
mol Metal yang harus ditambahkan Mn sebagai basis	0,08791264	-0,0049454	0	0,0271793	diperlukan penambahan Li^+ sebesar 0,0879126366998031 mol dan penambahan Co^{2+} sebesar 0,027179303217984 mol
mol Metal yang harus ditambahkan Co sebagai basis	-0,0117448	-0,0321247	-0,0271793	0	Li^+ , Ni^{2+} dan Mn^{2+} dalam keadaan berlebih dan tanpa perlu penambahan

6. Molarity Adjustment Leaching Optimum Acetic Acid

Tabel B.8 Rangkuman *Molarity Adjustment Leaching Optimum Acetic Acid*

Metal	Li^+ (aq)	$x \text{Ni}^{2+}$ (aq)	$y \text{Mn}^{2+}$ (aq)	$z \text{Co}^{2+}$ (aq)	Keterangan
Perbandingan Mol Formula NMC 111	1,1	0,3	0,3	0,3	
Jumlah mol metal hasil leaching	0,19568002	0,07215627	0,07229155	0,0460513	kondisi leaching optimum Acetic Acid
mol Metal yang harus ditambahkan Li sebagai basis	0	-0,018789	-0,0189243	0,007316	diperlukan penambahan Co^{2+} sebesar 0,007315999 mol yang setara dengan Co^{2+} sebesar 0,431154 gram dan dapat diperoleh dari 2,15148894820675 gram Co(II) asetat tetrahidrat
mol Metal yang harus ditambahkan Ni sebagai basis	0,06889298	0	-0,0001353	0,026105	diperlukan penambahan Li^+ sebesar 0,0688929770617073 mol dan penambahan Co^{2+} sebesar 0,0261049926158605 mol
mol Metal yang harus ditambahkan Mn sebagai basis	0,06938898	0,00013527	0	0,0262403	diperlukan penambahan Li^+ sebesar 0,0693889827114248 mol, diperlukan penambahan Ni^{2+} sebesar 0,000135274268104779 mol dan penambahan Co^{2+} sebesar 0,0262402668839653 mol
mol Metal yang harus ditambahkan Co sebagai basis	-0,0268253	-0,026105	-0,0262403	0	Li^+ , Ni^{2+} dan Mn^{2+} dalam keadaan berlebih dan tanpa perlu penambahan

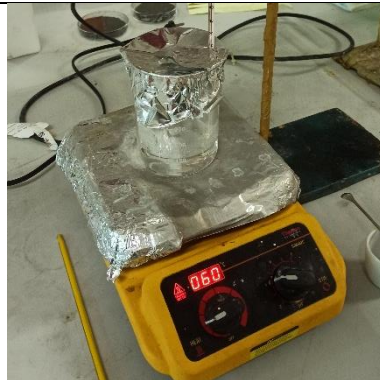
LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN

Tabel C.1 Alat Penelitian

Gambar	
	
Cawan Porselen	Timbangan Digital
	
Cawan Petri	Mortar dan Alu
	
Spatula	Gelas Ukur 250 mL



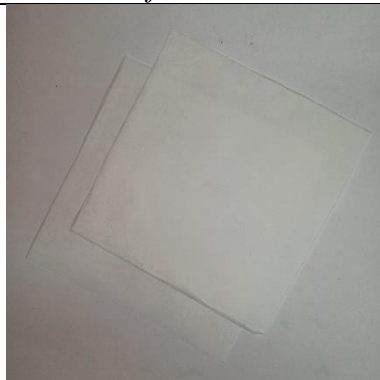
Gelas Beker 500 mL, 250 mL



Hotplate dan Stirrer Thermo Scientific CIMAREC



Thermometer



Kertas Saring Whatman No. 93



Corong



Magnetic Stirrer



Desikator



Tang



Muffle Furnance



ICP -OES



XRD PAN Analytical



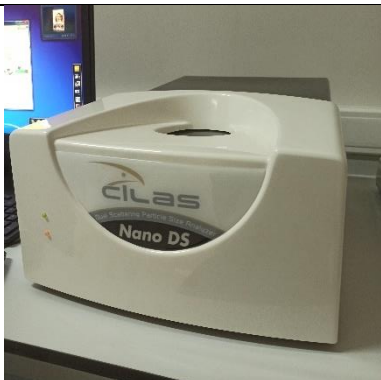
XRF XRAY XAN 220



AAS



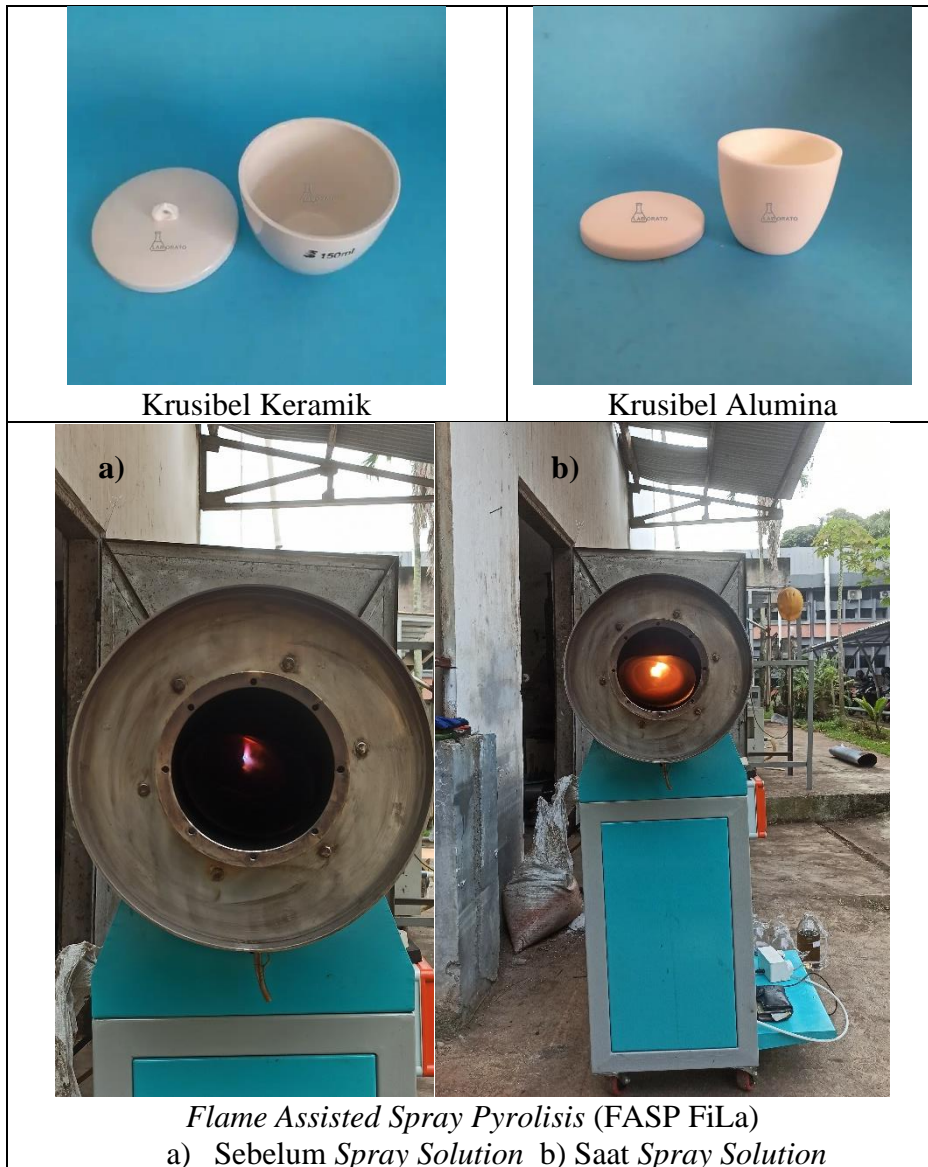
Ultrasonic Cleaner



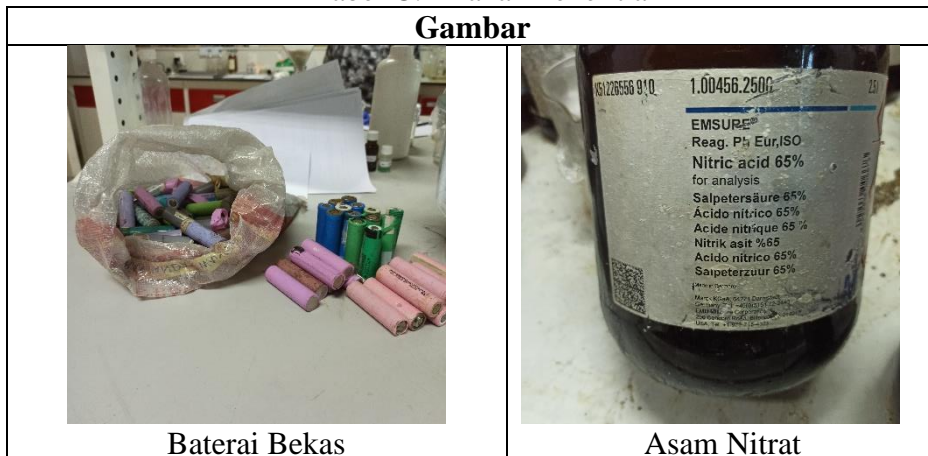
Particle Size Analyzer (Cilas)

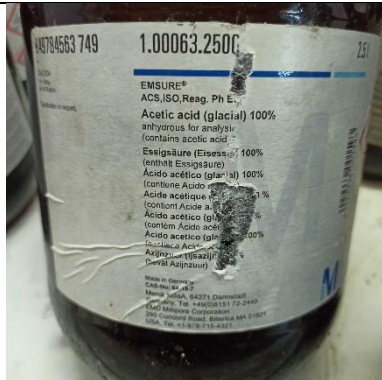


Screen -400 Mesh

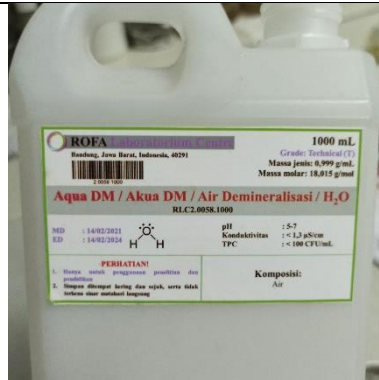


Tabel C.2 Bahan Penelitian





Asam Asetat glasial



Aquadest



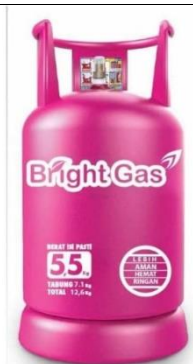
Cobalt (II) nitrate hexahydrate



Lithium Karbonat






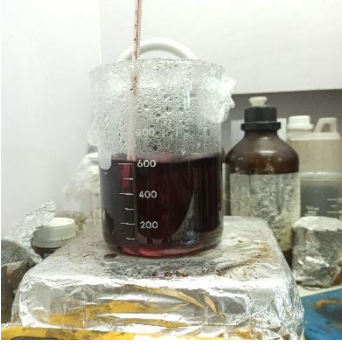




Hydrogen Peroksida 30%



Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Tabel C.3 Proses dan Hasil Penelitian

Gambar	
	
<p>Pengambilan Serbuk Katoda Baterai Bekas</p>	<p>Komponen Baterai Bekas</p>
	
<p>Kalsinasi Serbuk Katoda</p>	<p>Pengayakan Serbuk katoda hasil kalsinasi</p>
	
<p>Penimbangan Serbuk Katoda</p>	<p>Pelindian Serbuk Katoda</p>
	
<p>Filtrat Pelindian dengan Asam Nitrat</p>	<p>Filtrat Pelindian dengan Asam Asetat</p>



Larutan *leaching* AA Komersil dan
NA Komersil untuk FASP



Larutan *leaching* AA LIB's
dan NA LIB's untuk FASP



Penambahan Logam Co untuk
Molarity Adjustate



Penimbangan *Cobalt (II)*
nitrate hexahydrate



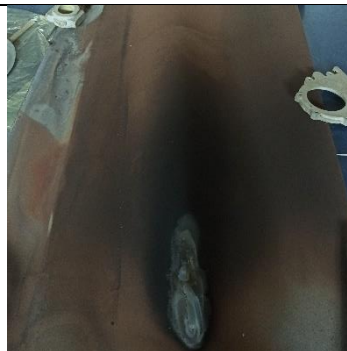
Proses FASP



Katoda hasil FASP
AA Komersil



Katoda hasil FASP
AA LIB's



Katoda hasil FASP
NA LIB's



Katoda hasil FASP sebelum kalsinasi



Katoda hasil FASP setelah kalsinasi

LAMPIRAN D
MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)

Berikut Terlampir MSDS Bahan Kimia yang digunakan pada penelitian ini:

1. Asam Nitrat
2. Asam Asetat Glasial
3. Hidrogen Peroksida
4. *Cobalt (ii) Hexahydrate*
5. *Lithium Carbonat*

LEMBARAN DATA KESELAMATAN

menurut Peraturan (EC) No. 1907/2006

MSDS Umum Uni Eropa - Tidak ada data untuk negara tertentu - Tidak ada OEL Data

Versi 8.7

Revisi tanggal 03.12.2021

Tanggal Cetak 05.01.2022

BAGIAN 1: Identitas Bahan dan Perusahaan**1.1 Pengidentifikasi produk**

Nama produk : Asam asetat (glasial) 100% anhidrat untuk analisis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Nomor Produk : 1.00063
 No katalog : 100063
 Merek : Millipore
 No-Indeks : 607-002-00-6
 Nomor REACH : 01-2119475328-30-XXXX
 No-CAS : 64-19-7

1.2 Penggunaan yang relevan dari bahan atau campuran yang diidentifikasi dan penggunaan yang disarankan terhadap

Penggunaan yang teridentifikasi : Reagen untuk analisis, Produksi bahan kimia

1.3 Rincian penyuplai lembar data keselamatan

Perusahaan : Merck KGaA
 Frankfurter Str. 250
 D-64271 DARMSTADT

Telepon : +49 (0)6151 72-0
 Fax : +49 6151 727780
 Alamat email : TechnicalService@merckgroup.com

1.4 Nomor telepon darurat

Nomer Telepon Darurat :
 # 001-803-017-9114 (CHEMTREC)

BAGIAN 2: Identifikasi bahaya**2.1 Klasifikasi bahan atau campuran****Klasifikasi menurut Peraturan (EC) No 1272/2008**

Cairan mudah menyala (Kategori 3), H226

Korosi kulit (Subkategori 1A), H314

Kerusakan mata serius (Kategori 1), H318

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.


2.2 Elemen label**Pelabelan menurut Peraturan (EC) No 1272/2008**

Millipore- 1.00063


Halaman 1 dari 11

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Piktogram	
Kata sinyal	Bahaya
Pernyataan Hazard (s) H226 H314	Cairan dan uap mudah menyala. Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata.
Pernyataan pencegahan) P210	Jauhkan dari panas/percikan/api terbuka /permukaan yang panas. - Dilarang merokok.
P233	Jaga wadah tertutup rapat.
P240	Ardekan dan Ikat wadah dan peralatan penerima.
P280	Kenakan sarung tangan pelindung/ pakaian pelindung/ pelindung mata/ pelindung wajah/ perlindungan pendengaran.
P303 + P361 + P353	JIKA TERKENA KULIT (atau rambut): Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilas kulit dengan air.
P305 + P351 + P338	JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya.Lanjutkan membilas.
Pernyataan Bahaya Tambahan	tidak ada

Pelabelan dikurangi (<= 125 ml)

Piktogram	
Kata sinyal	Bahaya
Pernyataan Hazard (s) H314	Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata.
Pernyataan pencegahan) P280	Kenakan sarung tangan pelindung/ pakaian pelindung/ pelindung mata/ pelindung wajah/ perlindungan pendengaran.
P303 + P361 + P353	JIKA TERKENA KULIT (atau rambut): Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilas kulit dengan air.
P305 + P351 + P338	JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya.Lanjutkan membilas.
Pernyataan Bahaya Tambahan	tidak ada

2.3 bahaya lainnya

Zat/campuran ini tidak mengandung satu komponen pun yang dianggap baik persisten, bioakumulatif, dan beracun (PBT) maupun sangat persisten dan sangat bioakumulatif (vPvB) pada kadar 0,1% atau lebih.

BAGIAN 3: Komposisi Bahan

3.1 Bahan

Rumus	: C ₂ H ₄ O ₂
Berat Molekul	: 60,05 g/mol
No-CAS	: 64-19-7
No-EC	: 200-580-7

Millipore- 1.00063

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 2 dari 11



No-Indeks : 607-002-00-6

Komponen	Klasifikasi	Konsentrasi	
Acetic acid			
No-CAS No-EC No-Indeks	64-19-7 200-580-7 607-002-00-6	Flam. Liq. 3; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; H226, H314, H318 Batas konsentrasi: >= 90 %: Skin Corr. 1A, H314; 25 - < 90 %: Skin Corr. 1B, H314; 10 - < 25 %: Skin Irrit. 2, H315; 10 - < 25 %: Eye Irrit. 2, H319; 10 - < 25 %: Eye Irrit. 2, H319; 10 - < 25 %: Skin Irrit. 2, H315; 25 - < 90 %: Skin Corr. 1B, H314; >= 90 %: Skin Corr. 1A, H314; >= 90 %: Flam. Liq. 3, H226;	<= 100 %

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.

BAGIAN 4: Tindakan pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K)

4.1 Penjelasan mengenai tindakan pertolongan pertama

Saran umum

Pemberi pertolongan pertama harus melindungi dirinya. Tunjukkan lembar data keselamatan ini kepada dokter yang merawat.

Jika terhirup

Setelah terhirup: hirup udara segar. Panggil dokter.

Jika kontak dengan kulit

Bila terjadi kontak kulit: Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilaslah kulit dengan air/ pancuran air. Segera panggil dokter.

Jika kontak dengan mata

Setelah kontak pada mata : bilaslah dengan air yang banyak. Segera hubungi dokter mata. Lepaskan lensa kontak.

Jika tertelan

Setelah tertelan: beri air minum kepada korban (paling banyak dua gelas), hidari muntah (resiko perforasi!). Segera panggil dokter. Jangan mencoba menetralkan.

4.2 Kumpulan gejala / efek terpenting, baik akut maupun tertunda

Gejala dikenal dan efek yang paling penting dijelaskan dalam label (lihat bagian 2.2) dan / atau di bagian 11

4.3 Indikasi pertolongan medis pertama dan perawatan khusus yang diperlukan

Data tidak tersedia



Perlindungan Badan

Pakaian pelindung antistatik yang tahan-nyala.

Perlindungan pernapasan

Jenis filter yang direkomendasikan: filter E-(P2)

Pengusaha harus memastikan bahwa perawatan, pembersihan, dan pengujian perangkat perlindungan pernafasan telah dilakukan sesuai dengan petunjuk dari pabriknya. Tindakan ini harus didokumentasikan dengan benar.

Kontrol paparan lingkungan

Jangan biarkan produk masuk ke saluran pembuangan. Risiko ledakan.

BAGIAN 9: Sifat-sifat Fisika dan Kimia**9.1 Informasi tentang sifat fisik dan kimia**

- | | |
|--|---|
| a) Tampilan | Bentuk: cair
Warna: tidak berwarna |
| b) Bau | pedih |
| c) Ambang Bau | 0,2 ppm |
| d) pH | 2,5 pada 50 g/l pada 20 °C |
| e) Titik lebur/titik beku | Titik lebur: 16,64 °C |
| f) Titik didih awal/rentang didih | 117,9 °C pada 1.013,25 hPa |
| g) Titik nyala | 39 °C - cawan tertutup |
| h) Laju penguapan | Data tidak tersedia |
| i) Flamabilitas (padatan, gas) | Tidak berlaku |
| j) Batas bawah/atas flamabilitas atau ledakan | Tertinggi batas ledakan: 19,9 %(V)
Terendah batas ledakan: 4 %(V) |
| k) Tekanan uap | 20,79 hPa pada 25 °C |
| l) Densitas uap | 2,07 |
| m) Densitas Kerapatan (densitas) relatif | 1,04 g/cm ³ pada 25 °C
Data tidak tersedia |
| n) Kelarutan dalam air | 602,9 g/l pada 25 °C pada 1.013 hPa - larut sepenuhnya |
| o) Koefisien partisi (n-oktanol/air) | log Pow: -0,17 pada 25 °C - Diperkirakan tidak ada potensi bioakumulasi., (ECHA) |
| p) Suhu dapat membakar sendiri (auto-ignition temperature) | 463 °C |
| q) Suhu penguraian | Dapat didistilasi dalam kondisi tidak terurai (undecomposed) pada tekanan normal. |
| r) Kekentalan | Viskositas, kinematis: 1,17 mm ² /s pada 20 °C |

Millipore- 1.00063

Halaman 6 dari 11

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



(viskositas)	Viskositas, dinamis: 1,05 mPa,s pada 25 °C
s) Sifat peledak	Data tidak tersedia
t) Sifat oksidator	tidak ada

9.2 informasi keselamatan lainnya

Tegangan permukaan	28,8 mN/m pada 10,0 °C
Kerapatan (densitas) uap relatif	2,07

BAGIAN 10: Reaktifitas dan Stabilitas

10.1 Reaktifitas

Campuran uap/udara bersifat mudah-meledak pada pemanasan yang menyengat.

10.2 Stabilitas kimia

Produk ini stabil secara kimiawi di bawah kondisi ruangan standar (suhu kamar).

10.3 Reaksi berbahaya yang mungkin di bawah kondisi spesifik/khusus

Data tidak tersedia

10.4 Kondisi yang harus dihindari

Pemanasan.

10.5 Bahan yang harus dihindari

bermacam logam

10.6 Produk berbahaya hasil penguraian

Dalam kebakaran lihat bagian 5

BAGIAN 11: Informasi Toksikologi

11.1 Informasi tentang efek toksikologis

Toksitas akut

LD50 Oral - Tikus - 3.310 mg/kg

Komentar: (RTECS)

LC50 Penghirupan - Mencit - 4 h - 2.819 mg/l - uap

Komentar: (RTECS)

Kulit: Data tidak tersedia

Korosi/iritasi kulit

Kulit - Kelinci

Hasil: Mengakibatkan luka bakar. - 4 h

(Pedoman Tes OECD 404)

Komentar: (IUCLID)

Kerusakan mata serius/iritasi mata

Mata - Kelinci

Hasil: Mengakibatkan luka bakar. - 4 h

(Pedoman Tes OECD 405)

Komentar: (IUCLID)

Menyebabkan kerusakan mata yang serius.

Millipore- 1.00063

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 7 dari 11



LEMBAR DATA KESELAMATAN

menurut Peraturan (EC) No. 1907/2006

MSDS Umum Uni Eropa - Tidak ada data untuk negara tertentu - Tidak ada OEL Data

Versi 8.6

Revisi tanggal 23.08.2022

Tanggal Cetak 23.08.2022

BAGIAN 1: Identitas Bahan dan Perusahaan**1.1 Pengidentifikasi produk**

Nama produk : Asam nitrat 65% untuk analisis EMSURE®
Reag. Ph Eur,ISO

Nomor Produk : 1.00456
No katalog : 100456
Merek : Millipore
Nomor REACH : Produk ini adalah suatu preparasi. Nomor Registrasi REACH
lihat bab 3.

1.2 Penggunaan yang relevan dari bahan atau campuran yang diidentifikasi dan penggunaan yang disarankan terhadap

Penggunaan yang teridentifikasi : Reagen untuk analisis, Produksi bahan kimia

1.3 Rincian penyuplai lembar data keselamatan

Perusahaan : Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
D-64271 DARMSTADT
Telepon : +49 (0)6151 72-0
Fax : +49 6151 727780
Alamat email : TechnicalService@merckgroup.com

1.4 Nomor telepon darurat

Nomer Telepon Darurat :
001-803-017-9114 (CHEMTREC)

BAGIAN 2: Identifikasi bahaya**2.1 Klasifikasi bahan atau campuran****Klasifikasi menurut Peraturan (EC) No 1272/2008**

Cairan pengoksidasi (Kategori 3), H272
Korosif pada logam (Kategori 1), H290
Toksitas akut, Penghirupan (Kategori 3), H331
Korosi kulit (Subkategori 1A), H314
Kerusakan mata serius (Kategori 1), H318

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.



2.3 bahaya lainnya

Zat/campuran ini tidak mengandung satu komponen pun yang dianggap baik persisten, bioakumulatif, dan beracun (PBT) maupun sangat persisten dan sangat bioakumulatif (vPvB) pada kadar 0,1% atau lebih.

BAGIAN 3: Komposisi Bahan

3.2 Campuran

Komponen	Klasifikasi	Konsentrasi	
Nitric acid			
No-CAS	7697-37-2	Ox. Liq. 3; Met. Corr. 1; Acute Tox. 3; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; H272, H290, H331, H314, H318 Batas konsentrasi: >= 1 %: Met. Corr. 1, H290; 1 - < 5 %: Skin Irrit. 2, H315; 1 - < 3 %: Eye Irrit. 2, H319; >= 3 %: 1, H318; >= 65 %: Ox. Liq. 3, H272; >= 20 %: Skin Corr. 1A, H314; 5 - < 20 %: Skin Corr. 1B, H314; >= 3 %: Eye Dam. 1, H318; 1 - < 3 %: Eye Irrit. 2, H319; 1 - < 5 %: Skin Irrit. 2, H315;	>= 65 - < 70 %
No-EC	231-714-2		
No-Indeks	007-030-00-3		
Nomor registrasi	01-2119487297-23-XXXX		

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.

BAGIAN 4: Tindakan pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K)

4.1 Penjelasan mengenai tindakan pertolongan pertama

Saran umum

Pemberi pertolongan pertama harus melindungi dirinya.

Jika terhirup

Setelah terhirup: hirup udara segar. Panggil dokter. Jika napas terhenti: segera berikan pernapasan buatan secara mekanik, jika diperlukan berikan oksigen.

Jika kontak dengan kulit

Bila terjadi kontak kulit: Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilaslah kulit dengan air/ pancuran air. Segera panggil dokter.

Jika kontak dengan mata

Setelah kontak pada mata : bilaslah dengan air yang banyak. Segera hubungi dokter mata. Lepaskan lensa kontak.

Jika tertelan

Setelah tertelan: beri air minum kepada korban (paling banyak dua gelas), hidari muntah (resiko perforasi!). Segera panggil dokter. Jangan mencoba menetralkan.



dilarutkan dalam atau dicampur dengan bahan lain dan dalam kondisi yang menyimpang dari yang disebutkan dalam EN374 silahkan hubungi suplier sarung tangan CE-resmi (misalnya KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

percikan

Materi: Sarung tangan lateks

ketebalan lapisan minimal: 0,6 mm

Waktu terobosan: > 120 min

Bahan yang diuji: Lapren® (KCL 706 / Aldrich Z677558, Ukuran M)

Perlindungan Badan

pakaian pelindung tahan asam

Perlindungan pernapasan

Jenis filter yang direkomendasikan: Filter E-(P3)

Pengusaha harus memastikan bahwa perawatan, pembersihan, dan pengujian perangkat perlindungan pernafasan telah dilakukan sesuai dengan petunjuk dari pabriknya. Tindakan ini harus didokumentasikan dengan benar.

Kontrol pemaparan lingkungan

Jangan membuang ke saluran pembuangan.

BAGIAN 9: Sifat-sifat Fisika dan Kimia

9.1 Informasi tentang sifat fisik dan kimia

- | | |
|--|--|
| a) Keadaan fisik | cair |
| b) Warna | tidak berwarna |
| c) Bau | pedih |
| d) Titik lebur/titik beku | Titik lebur: kira-kira-32 °C |
| e) Titik didih awal/rentang didih | 121 °C pada 1.013 hPa |
| f) Flamabilitas (padatan, gas) | Data tidak tersedia |
| g) Batas bawah/atas flamabilitas atau ledakan | Data tidak tersedia |
| h) Titik nyala | Tidak berlaku |
| i) Suhu dapat membakar sendiri (auto-ignition temperature) | Data tidak tersedia |
| j) Suhu penguraian | Dapat didistilasi dalam kondisi tidak terurai (undecomposed) pada tekanan normal. |
| k) pH | < 1 pada 20 °C |
| l) Kekentalan (viskositas) | Viskositas, kinematis: Data tidak tersedia
Viskositas, dinamis: Data tidak tersedia |
| m) Kelarutan dalam air | pada 20 °C larut |
| n) Koefisien partisi (n- | Data tidak tersedia |

Millipore- 1.00456

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 6 dari 13



- oktanol/air)
- o) Tekanan uap kira-kira 9,4 hPa pada 20 °C
 - p) Densitas 1,39 g/cm³ pada 20 °C
 - Kerapatan (densitas) relatif Data tidak tersedia
 - q) Kerapatan (densitas) uap relatif Data tidak tersedia
 - r) Karakteristik partikel Data tidak tersedia

 - s) Sifat peledak Tidak diklasifikasikan sebagai mudah meledak.
 - t) Sifat oksidator Bahan atau campuran ini diklasifikasikan sebagai pengoksidasi dengan kategori 3.

9.2 informasi keselamatan lainnya

Data tidak tersedia

BAGIAN 10: Reaktifitas dan Stabilitas

10.1 Reaktifitas

zat pengoksidasi kuat

10.2 Stabilitas kimia

Data tidak tersedia

10.3 Reaksi berbahaya yang mungkin di bawah kondisi spesifik/khusus

Beresiko meledak dengan:

Aseton
 acetoneitrile
 acetylidene
 Alkohol
 Dithallium trioxide
 antimony hydride
 arsenic hydride
 Zat-zat kimia organik
 Benzena
 phosphides
 anilines
 Amin
 Hidrokarbon halogen
 Dietileter
 dimetil eter
 hydrazine
 Senyawa nitro
 Sulfida
 Dioksan
 acetic acid
 Asetat anhidrida
 etanol
 Ethylene glycol
 Fluorin
 Formaldehida
 Karet

Millipore- 1.00456

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 7 dari 13



LEMBARAN DATA KESELAMATAN

menurut Peraturan (EC) No. 1907/2006

MSDS Umum Uni Eropa - Tidak ada data untuk negara tertentu - Tidak ada OEL Data

Versi 8.1

Revisi tanggal 03.12.2021

Tanggal Cetak 04.01.2022

BAGIAN 1: Identitas Bahan dan Perusahaan**1.1 Pengidentifikasi produk**

Nama produk : Hidrogen peroksida 30% distabilisasi
EMPROVE® ESSENTIAL Ph Eur,BP,USP

Nomor Produk : 1.08597
No katalog : 108597
Merek : Millipore
Nomor REACH : Produk ini adalah suatu preparasi. Nomor Registrasi REACH
lihat bab 3.

1.2 Penggunaan yang relevan dari bahan atau campuran yang diidentifikasi dan penggunaan yang disarankan terhadap

Penggunaan yang teridentifikasi : Produksi farmasi, Bahan baku kosmetik

1.3 Rincian penyuplai lembar data keselamatan

Perusahaan : Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
D-64271 DARMSTADT
Telepon : +49 (0)6151 72-0
Fax : +49 6151 727780
Alamat email : TechnicalService@merckgroup.com

1.4 Nomor telepon darurat

Nomer Telepon Darurat :
001-803-017-9114 (CHEMTREC)

BAGIAN 2: Identifikasi bahaya**2.1 Klasifikasi bahan atau campuran****Klasifikasi menurut Peraturan (EC) No 1272/2008**

Kerusakan mata serius (Kategori 1), H318

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.

2.2 Elemen label**Pelabelan menurut Peraturan (EC) No 1272/2008**

Piktogram



Millipore- 108597

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in
the US and Canada

Halaman 1 dari 12



Kata sinyal	Bahaya
Pernyataan Hazard (s) H318	Menyebabkan kerusakan mata yang serius.
Pernyataan pencegahan) P280 P305 + P351 + P338	Pakai perlindungan mata/ perlindungan muka. JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya.Lanjutkan membilas.
Pernyataan Bahaya Tambahkan	tidak ada

2.3 bahaya lainnya

Zat/campuran ini tidak mengandung satu komponen pun yang dianggap baik persisten, bioakumulatif, dan beracun (PBT) maupun sangat persisten dan sangat bioakumulatif (vPvB) pada kadar 0,1% atau lebih.

BAGIAN 3: Komposisi Bahan

3.2 Campuran

Komponen	Klasifikasi	Konsentrasi
Hydrogen peroxide		
No-CAS	7722-84-1	>= 30 - < 35 %
No-EC	231-765-0	
No-Indeks	008-003-00-9 *	
Ox. Liq. 1; Acute Tox. 4; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; STOT SE 3; Aquatic Chronic 3; H271, H302, H332, H314, H318, H335, H412 Batas konsentrasi: >= 70 %: Ox. Liq. 1, H271; 50 - < 70 %: Ox. Liq. 2, H272; >= 70 %: Skin Corr. 1A, H314; 50 - < 70 %: Skin Corr. 1B, H314; 35 - < 50 %: Skin Irrit. 2, H315; 8 - < 50 %: Eye Dam. 1, H318; 5 - < 8 %: Eye Irrit. 2, H319; >= 35 %: STOT SE 3, H335;		

*Nomor registrasi tidak tersedia untuk bahan ini karena bahan atau penggu naannya dibebaskan dari pendaftaran sesuai dengan Pasal 2 peraturan REAC H (EC) No 1907/2006, tonase tahunan tidak memerlukan pendaftaran atau pe ndaftaran diantisipasi untuk batas waktu pendaftaran akan datang.

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.

BAGIAN 4: Tindakan pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K)

4.1 Penjelasan mengenai tindakan pertolongan pertama

Jika terhirup

Setelah menghirup: hirup udara segar.

Millipore- 108597

Halaman 2 dari 12

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Rekomendasi ini berlaku hanya untuk produk yang disebutkan dalam lembar data keselamatan dan disuplai oleh kami sesuai tujuan yang kami maksud. Ketika dilarutkan dalam atau dicampur dengan bahan lain dan dalam kondisi yang menyimpang dari yang disebutkan dalam EN374 silahkan hubungi supplier sarung tangan CE-resmi (misalnya KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

percikan
Materi: Karet nitril
ketebalan lapisan minimal: 0,11 mm
Waktu terobosan: 480 min
Bahan yang diuji:KCL 741 Dermatril® L

Perlindungan Badan
sarung tangan pelindung

Perlindungan pernapasan
Jenis filter yang direkomendasikan: filter NO

Pengusaha harus memastikan bahwa perawatan, pembersihan, dan pengujian perangkat perlindungan pernafasan telah dilakukan sesuai dengan petunjuk dari pabriknya. Tindakan ini harus didokumentasikan dengan benar.

Kontrol pemaparan lingkungan
Jangan membuang ke saluran pembuangan.

BAGIAN 9: Sifat-sifat Fisika dan Kimia

9.1 Informasi tentang sifat fisik dan kimia

- | | |
|---|--|
| a) Tampilan | Bentuk: cair
Warna: tidak berwarna |
| b) Bau | agak |
| c) Ambang Bau | Data tidak tersedia |
| d) pH | 2 - 4 pada 20 °C |
| e) Titik lebur/titik beku | Titik lebur: -26 °C |
| f) Titik didih awal/rentang didih | 107 °C pada 1.013 hPa |
| g) Titik nyala | tidak mudah terbakar |
| h) Laju penguapan | Data tidak tersedia |
| i) Flamabilitas (padatan, gas) | Data tidak tersedia |
| j) Batas bawah/atas flamabilitas atau ledakan | Data tidak tersedia |
| k) Tekanan uap | kira-kira 18 hPa pada 20 °C |
| l) Densitas uap | Data tidak tersedia |
| m) Densitas Kerapatan (densitas) relatif | 1,11 g/cm ³ pada 20 °C
Data tidak tersedia |
| n) Kelarutan dalam air | Data tidak tersedia |

Millipore- 108597

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 5 dari 12



- | | |
|--|--|
| o) Koefisien partisi (n-oktanol/air) | Data tidak tersedia |
| p) Suhu dapat membakar sendiri (auto-ignition temperature) | Data tidak tersedia |
| q) Suhu penguraian | > 100 °C - |
| r) Kekentalan (viskositas) | Viskositas, kinematis: Data tidak tersedia
Viskositas, dinamis: Data tidak tersedia |
| s) Sifat peledak | Tidak diklasifikasikan sebagai mudah meledak. |
| t) Sifat oksidator | Potensi mengoksidasi |

9.2 Informasi keselamatan lainnya
Data tidak tersedia

BAGIAN 10: Reaktifitas dan Stabilitas

10.1 Reaktifitas

Memiliki efek penyulut api akibat pelepasan oksigen.

10.2 Stabilitas kimia

peka panas Kepekaan terhadap cahaya
Mengandung zat(-zat) penstabil berikut:
Disodium pyrophosphate (0,015 %)
Phosphoric acid (0,01 %)
Ammonium nitrate (0,006 %)

10.3 Reaksi berbahaya yang mungkin di bawah kondisi spesifik/khusus

Beresiko meledak dengan:

Acetaldehyde
Aseton
Arang aktif.
Alkohol
formic acid
Amonia
bahan yang mudah terbakar
vinyl acetate
Zat-zat kimia organik
Serbuk logam
Debu
hydrazine dan turunannya
hydrides
Eter
Kalium
anilines
Garam metalik
acetic acid
Asetat anhidrida
Formaldehida
furfuril alkohol
minyak
sodium

Millipore- 108597

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 6 dari 12



LEMBARAN DATA KESELAMATAN

menurut Peraturan (EC) No. 1907/2006

Versi 8.4

Revisi tanggal 19.07.2021

Tanggal Cetak 20.07.2021

BAGIAN 1: Identitas Bahan dan Perusahaan**1.1 Pengidentifikasi produk**

Nama produk : Kobalt(II) nitrat heksahidrat untuk analisis EMSURE®

Nomor Produk : 1.02536
 No katalog : 102536
 Merek : Millipore
 Nomor REACH : Nomor registrasi tidak tersedia untuk bahan ini karena bahan atau penggunaan dibebaskan dari pendaftaran, tonase tahunan tidak memerlukan pendaftaran atau pendaftaran dipertimbangkan untuk batas waktu pendaftaran akan datang.

No-CAS : 10026-22-9

1.2 Penggunaan yang relevan dari bahan atau campuran yang diidentifikasi dan penggunaan yang disarankan terhadap

Penggunaan yang teridentifikasi : Reagen untuk analisis

1.3 Rincian penyuplai lembar data keselamatan

Perusahaan : Merck KGaA
 Frankfurter Str. 250
 D-64271 DARMSTADT

Telepon : +49 (0)6151 72-0
 Fax : +49 6151 727780
 Alamat email : TechnicalService@merckgroup.com

1.4 Nomor telepon darurat

Nomer Telepon Darurat :
 # 001-803-017-9114 (CHEMTREC)

BAGIAN 2: Identifikasi bahaya**2.1 Klasifikasi bahan atau campuran****Klasifikasi menurut Peraturan (EC) No 1272/2008**

Padatan pengoksidasi (Kategori 2), H272
 Toksisitas akut, Oral (Kategori 4), H302
 Toksisitas akut, Penghirupan (Kategori 4), H332
 Kerusakan mata serius (Kategori 1), H318
 Sensitisasi saluran pernafasan (Kategori 1), H334
 Sensitisasi pada kulit (Kategori 1), H317
 Mutagenisitas pada sel nutfah (Kategori 2), H341

Millipore- 1.02536

Halaman 1 dari 10

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

MERCK

Karsinogenisitas (Kategori 1B), H350
 Toksisitas terhadap reproduksi (Kategori 1B), H360F
 Bahaya akuatik akut atau jangka pendek (Kategori 1), H400
 Bahaya akuatik kronis atau jangka panjang (Kategori 1), H410

Teks pernyataan-H penuh yang disebutkan dalam Bagian ini, baca Bagian 16.

2.2 Elemen label

Pelabelan menurut Peraturan (EC) No 1272/2008

Piktogram



Kata sinyal

Bahaya

Pernyataan Hazard (s)

H272	Dapat mengintensifkan api; pengoksidasi.
H302 + H332	Berbahaya jika tertelan atau bila terhirup.
H317	Dapat menyebabkan reaksi alergi pada kulit.
H318	Menyebabkan kerusakan mata yang serius.
H334	Dapat menyebabkan alergi atau gejala asma atau kesulitan bernafas jika terhirup.
H341	Diduga menyebabkan kerusakan genetik.
H350	Dapat menyebabkan kanker.
H360F	Dapat merusak kesuburan.
H410	Sangat toksik pada kehidupan perairan dengan efek jangka panjang.

Pernyataan pencegahan)

P210	Jauhkan dari panas/percikan/api terbuka /permukaan yang panas. - Dilarang merokok.
P273	Hindari pelepasan ke lingkungan.
P280	Kenakan sarung tangan pelindung/ pakaian pelindung/ pelindung mata/ pelindung wajah/ perlindungan pendengaran.
P304 + P340 + P312	JIKA TERHIRUP: Pindahkan korban ke udara segar dan posisikan yang nyaman untuk bernapas. Hubungi SENTRA INFORMASI KERACUNAN atau dokter/ enaga medis jika kamu merasa tidak sehat.
P305 + P351 + P338	JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya.Lanjutkan membilas.
P308 + P313	Jika terpapar atau dikuatirkan : Dapatkan nasehat/ perhatian pengobatan.

Pernyataan Bahaya Tambahan

tidak ada

Terbatas hanya untuk pengguna profesional.

2.3 bahaya lainnya - tidak ada

BAGIAN 3: Komposisi Bahan

3.1 Bahan

Rumus	: $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Berat Molekul	: 291,03 g/mol
No-CAS	: 10026-22-9
No-EC	: 600-049-3

Millipore- 1.02536

Halaman 2 dari 10

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

BAGIAN 9: Sifat-sifat Fisika dan Kimia**9.1 Informasi tentang sifat fisik dan kimia**

- | | |
|--|--|
| a) Tampilan | Bentuk: padat
Warna: coklat merah |
| b) Bau | Data tidak tersedia |
| c) Ambang Bau | Data tidak tersedia |
| d) pH | 4,0 pada 100 g/l pada 20 °C |
| e) Titik lebur/titik beku | 55 °C |
| f) Titik didih awal/rentang didih | Data tidak tersedia |
| g) Titik nyala | Tidak berlaku |
| h) Laju penguapan | Data tidak tersedia |
| i) Flamabilitas (padatan, gas) | Data tidak tersedia |
| j) Batas bawah/atas flamabilitas atau ledakan | Data tidak tersedia |
| k) Tekanan uap | Data tidak tersedia |
| l) Densitas uap | Data tidak tersedia |
| m) Densitas Kerapatan (densitas) relatif | 1,88 g/cm ³
Data tidak tersedia |
| n) Kelarutan dalam air | larut |
| o) Koefisien partisi (n-oktanol/air) | Tidak berlaku untuk zat anorganik |
| p) Suhu dapat membakar sendiri (auto-ignition temperature) | Data tidak tersedia |
| q) Suhu penguraian | Data tidak tersedia |
| r) Kekentalan (viskositas) | Viskositas, kinematis: Data tidak tersedia
Viskositas, dinamis: Data tidak tersedia |
| s) Sifat peledak | Data tidak tersedia |
| t) Sifat oksidator | Bahan atau campuran ini diklasifikasikan sebagai pengoksidasi dengan kategori 2. |

9.2 informasi keselamatan lainnya

Densitas curah kira-kira 800 kg/m³

BAGIAN 10: Reaktifitas dan Stabilitas**10.1 Reaktifitas**

Data tidak tersedia

Millipore- 1.02536

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Halaman 6 dari 10

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 8.2

Revision Date 04.11.2021

Print Date 08.09.2022

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking**1.1 Product identifiers**

Product name : Lithium carbonate

Product Number : 431559

Brand : Aldrich

REACH No. : 01-2119516034-53-XXXX

CAS-No. : 554-13-2

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
(Co. Registration No. 199403788W)
2 Science Park Drive
#05-01/12 Ascent Building
SINGAPORE 118222
SINGAPORE

Telephone : +65 6890 6633

Fax : +65 6890 6639

E-mail address : TechnicalService@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

SECTION 2: Hazards identification**2.1 Classification of the substance or mixture****Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008**

Acute toxicity, Oral (Category 4), H302

Eye irritation (Category 2), H319

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 Label elements**Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008**

Pictogram



Signal word

Warning

Aldrich- 431559


Page 1 of 10

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Hazard statement(s)	
H302	Harmful if swallowed.
H319	Causes serious eye irritation.
Precautionary statement(s)	
P264	Wash skin thoroughly after handling.
P270	Do not eat, drink or smoke when using this product.
P280	Wear eye protection/ face protection.
P301 + P312	IF SWALLOWED: Call a POISON CENTER/ doctor if you feel unwell.
P305 + P351 + P338	IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
P337 + P313	If eye irritation persists: Get medical advice/ attention.
Supplemental Hazard Statements	none

Reduced Labeling (<= 125 ml)

Pictogram 

Signal word	Warning
Hazard statement(s)	none
Precautionary statement(s)	none
Supplemental Hazard Statements	none

Reduced Labeling (<= 125 ml)

Pictogram 

Signal word	Warning
Hazard statement(s)	none
Precautionary statement(s)	none
Supplemental Hazard Statements	none

2.3 Other hazards

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

Formula	: ClI_2O_3
Molecular weight	: 73,89 g/mol
CAS-No.	: 554-13-2
EC-No.	: 209-062-5

Aldrich- 431559

Page 2 of 10

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Component	Classification	Concentration
Lithium carbonate		
CAS-No.	554-13-2	Acute Tox. 4; Eye Irrit. 2; H302, H319
EC-No.	209-062-5	
		<= 100 %

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first-aid measures

General advice

Show this material safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled

After inhalation: fresh air.

In case of skin contact

In case of skin contact: Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/ shower.

In case of eye contact

After eye contact: rinse out with plenty of water. Call in ophthalmologist. Remove contact lenses.

If swallowed

After swallowing: immediately make victim drink water (two glasses at most). Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labelling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No data available

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use extinguishing measures that are appropriate to local circumstances and the surrounding environment.

Unsuitable extinguishing media

For this substance/mixture no limitations of extinguishing agents are given.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Nature of decomposition products not known.
Not combustible.
Ambient fire may liberate hazardous vapours.

5.3 Advice for firefighters

In the event of fire, wear self-contained breathing apparatus.

Aldrich- 431559

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Page 3 of 10



Control of environmental exposure
Do not let product enter drains.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a) Appearance	Form: powder Color: white
b) Odor	odorless
c) Odor Threshold	No data available
d) pH	9,0 - 11,0 at 1 g/l
e) Melting point/freezing point	Melting point/range: 618 °C - lit.
f) Initial boiling point and boiling range	No data available
g) Flash point	No data available
h) Evaporation rate	No data available
i) Flammability (solid, gas)	No data available
j) Upper/lower flammability or explosive limits	No data available
k) Vapor pressure	No data available
l) Vapor density	No data available
m) Density	2,11 g/mL at 25 °C
Relative density	No data available
n) Water solubility	8,4 g/l at 20 °C - OECD Test Guideline 105- soluble
o) Partition coefficient: n-octanol/water	Not applicable for inorganic substances
p) Autoignition temperature	No data available
q) Decomposition temperature	No data available
r) Viscosity	Viscosity, kinematic: No data available Viscosity, dynamic: No data available
s) Explosive properties	No data available
t) Oxidizing properties	none
Particle Size Distribution	D10 = 8 µm D50 = 461 µm D90 = 977 µm Measurement method: ISO 13320 Measurement technique: laser diffraction D10 = 1,76 µm D50 = 5,47 µm

Aldrich- 431559

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Page 6 of 10

