

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA
TiO₂ SEBAGAI MATERIAL *COATING* PADA SINTESIS
KATODA LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ (NMC955) TERHADAP
PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIMUM**

SALAMULLOH ABDUL HADI
NRP. 02511840000100

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
NIP. 197703132003121001
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197701162003122007

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA
TiO₂ SEBAGAI MATERIAL COATING PADA SINTESIS
KATODA LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ (NMC955) TERHADAP
PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIMUM**

SALAMULLOH ABDUL HADI
NRP. 02511840000100

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
NIP. 197703132003121001
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197701162003122007

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDED MASS PERCENT OF TiO_2 AS A COATING MATERIAL ON THE SYNTHESIS OF $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF A LITHIUM-ION BATTERY

SALAMULLOH ABDUL HADI
NRP. 02511840000100

Advisor

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.

NIP. 197703132003121001

Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197701162003122007

Study Program of Materials Engineering
Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA TiO_2 SEBAGAI MATERIAL COATING PADA SINTESIS KATODA $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIAM

TUGAS AKHIR


Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh : SALAMULLOH ABDUL HADI
NRP. 02511840000100

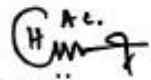
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

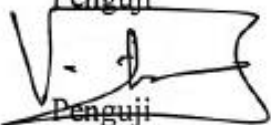
1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng.), Ph.D.
2. Diah Susanti S.T., M.T., Ph.D.
3. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
4. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.




Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDED MASS PERCENT OF TiO_2 AS A COATING MATERIAL ON THE SYNTHESIS OF $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF A LITHIUM-ION BATTERY

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Materials Engineering
Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **SALAMULLOH ABDUL HADI**
NRP. 02511840000100

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng.), Ph.D.
2. Diah Susanti S.T., M.T., Ph.D.
3. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
4. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.



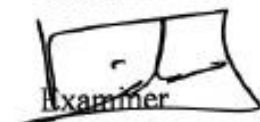
Advisor



Co-Advisor



Examiner



Examiner

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Salamulloh Abdul Hadi/02511840000100
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D./
197703132003121001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA TiO_2 SEBAGAI MATERIAL *COATING* PADA SINTESIS KATODA $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIUM” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 20 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.)
NIP. 197703132003121001

Mahasiswa



(Salamulloh Abdul Hadi)
NRP. 02511840000100

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

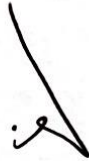
Name of student/NRP : Salamulloh Abdul Hadi/02511840000100
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D./
197703132003121001

Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDED MASS PERCENT OF TiO_2 AS A COATING MATERIAL ON THE SYNTHESIS OF $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF A LITHIUM-ION BATTERY” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 20th 2022

Acknowledged
Advisor



(Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.)
NIP. 197703132003121001

Student



(Salamulloh Abdul Hadi)
NRP. 02511840000100

(This page is intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA TiO₂ SEBAGAI
MATERIAL COATING PADA SINTESIS KATODA LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ (NMC955)
TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIAM**

Nama Mahasiswa / NRP : Salamulloh Abdul Hadi / 02511840000100
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS
Dosen Pembimbing 1 : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi di era modern ini, baterai memiliki peranan yang cukup besar, digunakan sebagai alat penyimpanan energi yang sering digunakan dan masih terus dikembangkan. Baterai ion litium mempunyai karakteristik yang dapat diandalkan sebagai alat-alat elektronik dan juga kendaraan listrik. *Nickel Manganese Cobalt* (NMC) diklaim sebagai inovasi paduan yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan persen massa serbuk nanopartikel TiO₂ sebagai material *coating* dengan variasi sebanyak 1, 3, dan 5% terhadap morfologi serta performa elektrokimia dengan menggunakan metode sintesis katoda pada baterai ion litium LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ (NMC955). Penelitian ini diharapkan agar mampu mendapatkan hasil yang lebih baik dari pada penemuan yang sudah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini dimulai dari pembuatan prekursor, kemudian pencucian, penyaringan, lalu pengeringan dalam oven kemudian proses kalsinasi. Selanjutnya proses pengadukan dengan mesin *ball mill* dengan kecepatan 600 *revolution per minute* (rpm) selama 10 menit, lalu proses *coating* dengan penambahan TiO₂ melalui pengadukan kembali dengan kecepatan 600 rpm selama 1 menit serta 1000 rpm selama 60 menit. Kemudian pembuatan *slurry* pada foil aluminium yang selanjutnya dilakukan pengeringan dalam oven dengan 60°C selama 12 jam. Selanjutnya perakitan baterai dalam mesin *glove box* sampai terbentuk koin sel. Hasil yang diperoleh dalam penggunaan material *coating* terhadap NMC955 pada sisi morfologi yaitu terjadi peningkatan ukuran *crystallite* dan diameter partikel dengan nilai tertinggi pada variasi 5% yaitu 63.0597 nm dan 0.034 µm. Hal tersebut membuktikan bahwa material *coating* dapat melapisi dengan baik pada NMC955. Pada pengujian performa elektrokimia diperoleh yang terbaik yaitu pada variasi 1% dengan konduktivitas terbaik yang ditunjukkan dari selisih jarak terendah pada voltase oksidasi dengan reduksi dan dari nilai perhitungan konduktivitas tertinggi yaitu 0.36 V serta 3.944x10⁻⁴ ohm⁻¹cm⁻¹, kapasitas terbaik yang ditunjukkan dari nilai *capacity loss* terendah yaitu 29.57%, dan hambatan terbaik yang ditunjukkan dari nilai Rct terendah yaitu 22.134 ohm. Maka dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa dengan proses penambahan *coating* TiO₂ ke NMC955, dapat meningkatkan performa elektrokimia dari segi kapasitas dan konduktivitas jika dibandingkan dengan NMC955 yang tanpa melalui proses penambahan *coating*.

Kata Kunci: *Baterai, Coating, Katoda, NMC, TiO₂*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDED MASS PERCENT OF TiO₂ AS A
COATING MATERIAL ON THE SYNTHESIS OF LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ (NMC955)
ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF A LITHIUM-ION BATTERY**

Student Name / NRP : Salamulloh Abdul Hadi / 02511840000100
Department : Materials and Metallurgicals Engineering FTIRS ITS
Advisor : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
Co-advisor : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Along with the rapid development of technology in this modern era, batteries have a significant role, used as energy storage devices that are often used and are still being developed. Lithium ion batteries have reliable characteristics as electronic devices and also electric vehicles. Nickel Manganese Cobalt (NMC) is claimed to be the best alloy innovation. This study aims to analyze the effect of the addition of TiO₂ nanoparticle powder mass percent as a coating material with variations of 1, 3, and 5% on morphology and electrochemical performance using the cathode synthesis method on LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ lithium ion batteries (NMC955). This research is expected to be able to get better results than the findings that have been done before. This research starts from making precursors, then washing, filtering, then drying in the oven then calcination process. Then the stirring process with a ball mill machine at a speed of 600 revolutions per minute (rpm) for 10 minutes, then the coating process with the addition of TiO₂ through stirring again at a speed of 600 rpm for 1 minute and 1000 rpm for 60 minutes. Then making slurry on aluminum foil which is then dried in an oven with 60°C for 12 hours. Furthermore, the battery assembly in the glove box machine until the coin cell is formed. The results obtained in the use of coating materials on NMC955 in terms of morphology are an increase in crystallite size and particle diameter with the highest value in the 5% variation, namely 63.0597 nm and 0.034 μm. This proves that the coating material can coat well on NMC955. In testing the electrochemical performance, the best is obtained at 1% variation with the best conductivity shown from the lowest distance difference in oxidation voltage with reduction and from the highest conductivity calculation value of 0.36 V and 3.944x10⁻⁴ ohm⁻¹cm⁻¹, the best capacity shown from the lowest capacity loss value of 29.57%, and the best resistance shown from the lowest Rct value of 22.134 ohm. So from the research that has been done, it is obtained that the process of adding TiO₂ coating to NMC955, can improve electrochemical performance in terms of capacity and conductivity when compared to NMC955 without going through the coating addition process.

Keywords: *Battery, Cathode, Coating, NMC, TiO₂*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian Tugas Akhir dengan judul “**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA TiO₂ SEBAGAI MATERIAL COATING PADA SINTESIS KATODA LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ (NMC955) TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIUM**” untuk memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, di antaranya adalah:

1. Orang tua, saudara, dan rekan yang telah mendoakan dan mendukung penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir serta kegiatan perkuliahan.
2. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
4. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah mendoakan dan mendukung penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir serta kegiatan perkuliahan.
5. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si., Ph.D. selaku kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama kegiatan perkuliahan.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, karyawan, dan rekan-rekan perkuliahan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama kegiatan perkuliahan.
7. Alvan Alfaridzi dan Elsanti Anggraini Gunawan selaku anggota tim yang membantu penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
8. Rekan – rekan tim sebelah mahasiswa tugas akhir bidang baterai, Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam, Rikza Octavian Pratama, dan Mila Fatikah Sari yang membantu penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan, demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini, terima kasih.

Surabaya, 20 Juli 2022
Penulis

Salamulloh Abdul Hadi
NRP. 02511840000100

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baterai.....	5
2.1.1 Cara Kerja Baterai.....	5
2.1.2 Karakteristik Baterai.....	6
2.2 Baterai Ion Litium.....	6
2.3 Material Aktif Katoda.....	7
2.4 <i>Nickel Manganese Cobalt (NMC)</i>	8
2.5 Performa Elektrokimia.....	9
2.6 Aplikasi Baterai NMC <i>Ni-Rich</i>	10
2.7 Pelapisan Permukaan.....	11
2.8 Titanium Dioksida (TiO_2).....	11
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Bahan Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.2.1 Alat Penelitian.....	16
3.2.2 Bahan Penelitian.....	17
3.3 Prosedur Penelitian.....	17
3.3.1 Proses Pencampuran Prekursor $\text{NMC}(\text{OH})_2$	17
3.3.2 Proses Pencucian dan Penyaringan.....	18
3.3.3 Proses Pengeringan.....	18
3.3.4 Proses Penambahan LiOH	18
3.3.5 Proses Kalsinasi.....	19
3.3.6 Proses Pengadukan.....	19
3.3.7 Proses <i>Dry Coating</i>	19
3.3.8 Proses Persiapan <i>Slurry</i>	20
3.3.9 Proses Persiapan Katoda.....	20
3.3.10 Proses Perakitan Baterai.....	21
3.4 Pengujian.....	21
3.4.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	21
3.4.2 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	23
3.4.3 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	24
3.4.4 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	25
3.4.5 <i>Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)</i>	25

3.5	Rancangan Penelitian.....	26
3.6	Jadwal Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Hasil Sintesis NMC(OH) ₂	29
4.2	Hasil Karakterisasi	29
4.2.1	Hasil Pengujian dan Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	29
4.2.2	Hasil Pengujian dan Analisis <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).	31
4.3	Hasil Uji Performa Elektrokimia	37
4.3.1	Hasil Pengujian dan Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	37
4.3.2	Hasil Pengujian dan Analisis <i>Galvanostatic Charge-Discharge</i> (GCD).....	40
4.3.3	Hasil Pengujian dan Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN.....		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja Baterai(Biswas et al., 2013).....	5
Gambar 2.2 Cara kerja Baterai Ion Litium(R. Liu et al., 2011).....	6
Gambar 2.3 Struktur <i>layered Crystallite</i> LiMO_2 (Xu et al., 2012).	7
Gambar 2.4 Struktur <i>spinel Crystallite</i> LiM_2O_4 (Xu et al., 2012).	8
Gambar 2.5 Perbandingan Persentase Jenis NMC(Guan et al., 2020).....	8
Gambar 2.6 Hasil Uji GCD (a) NCM, (b) T-NCM(Fan et al., 2020).	9
Gambar 2.7 Hasil Uji EIS NCM dan T-NCM (c) 5 cycles (d) 50 cycles(Fan et al., 2020)	10
Gambar 2.8 Hasil Uji CV (a) NMC $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ murni; (b) dengan TiO_2 1 wt.%(Wu et al., 2009).....	10
Gambar 2.9 Contoh Aplikasi pada Kendaraan Listrik(Molenda, 2011).....	11
Gambar 2.10 Mekanisme Proses <i>Dry Coating</i> (Engineering, 2020).	11
Gambar 2.11 Struktur TiO_2 <i>Crystallite</i> (Liao et al., 2020).	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Preparasi Prekursor.....	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Perakitan Baterai.....	16
Gambar 3.3 Proses Pencampuran Prekursor.	18
Gambar 3.4 Proses Pencucian dan Penyaringan.	18
Gambar 3.5 Proses Pengeringan.	18
Gambar 3.6 Proses Penambahan LiOH.	19
Gambar 3.7 Proses Kalsinasi.	19
Gambar 3.8 Proses Pengecilan Partikel dengan <i>Ball Mill</i>	19
Gambar 3.9 Proses <i>Dry Coating</i> dengan <i>Ball Mill</i>	20
Gambar 3.10 (a) Proses Pengadukan <i>Slurry</i> ; (b) Pelapisan pada Foil Aluminium.....	20
Gambar 3.11 Proses Pengeringan.	20
Gambar 3.12 Proses Perakitan Baterai.....	21
Gambar 3.13 Prinsip Kerja XRD(Muliasatri et al., 2018).....	21
Gambar 3.14 Alat Uji XRD(Muliasatri et al., 2018).	22
Gambar 3.15 Prinsip Kerja SEM(Biswas et al., 2013).	23
Gambar 3.16 Alat Pengujian SEM-EDX.	24
Gambar 3.17 Instrumen CS350.....	24
Gambar 3.18 Instrumen GCD.	25
Gambar 3.19 Skema Peralatan Proses Sintesis.	26
Gambar 3.20 Skema Peralatan Proses Pengeringan.	26
Gambar 3.21 Skema Perubahan Katoda NMC955.	27
Gambar 3.22 Skema Proses Perakitan Baterai.....	27
Gambar 4.1 (a) Hasil <i>Coating Slurry</i> Katoda, (b) Setelah proses pengeringan, pemotongan, dan penekanan.....	29
Gambar 4.2 Hasil XRD NMC.....	30
Gambar 4.3 Hasil Pengujian SEM Sampel NMC dengan perbesaran 30.000X dan 50.000X (a) NMC murni; (b) <i>coating</i> 1%; (c) <i>coating</i> 3%; (d) <i>coating</i> 5%.	33
Gambar 4.4 Hasil Pengujian EDX <i>Elemental Mapping</i> unsur Ni, Mn, Co, dan Ti pada Sampel NMC; (a) NMC murni; (b) <i>coating</i> 1%; (c) <i>coating</i> 3%; (d) <i>coating</i> 5%.....	35
Gambar 4.5 Spektrum Pengujian EDX variasi (a) NMC murni; (b) <i>coating</i> 1%; (c) <i>coating</i> 3%, dan (d) <i>coating</i> 5%.	36
Gambar 4.6 Grafik CV pada NMC murni.	38

Gambar 4.7 Grafik CV pada NMC <i>coating</i> 1%.....	38
Gambar 4.8 Grafik CV pada NMC <i>coating</i> 3%.....	39
Gambar 4.9 Grafik CV pada NMC <i>coating</i> 5%.....	39
Gambar 4.10 Grafik GCD pada NMC murni.....	40
Gambar 4.11 Grafik GCD pada NMC <i>coating</i> 1%.....	41
Gambar 4.12 Grafik GCD pada NMC <i>coating</i> 3%.....	41
Gambar 4.13 Grafik GCD pada NMC <i>coating</i> 5%.....	42
Gambar 4.14 Grafik Hasil Pengujian EIS NMC murni dengan variasi <i>coating</i> 1%, 3%, dan 5%.....	43
Gambar 4.15 <i>Quick Fitting</i> Pengujian.....	43
Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC murni.....	44
Gambar 4.17 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC <i>coating</i> 1%.....	44
Gambar 4.18 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC <i>coating</i> 3%.....	45
Gambar 4.19 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC <i>coating</i> 5%.....	45
Gambar 4.20 <i>Bode plot</i> hasil pengujian EIS.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Analisis Performa Spesifikasi Baterai(Farid et al., 2021).	7
Tabel 2.2 Perbandingan Jenis NMC dari Segi Kandungan dalam Persentase (%) dan Biaya dalam Dolar (\$) (Guan et al., 2020).	9
Tabel 2.3 Sifat Fisika TiO ₂ (Shi et al., 2013).	12
Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya.	12
Tabel 3.1 Informasi Pengujian XRD.	23
Tabel 3.2 Pelaksanaan Penelitian.	27
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian.	28
Tabel 4.1 Pengaruh penambahan Persen Massa TiO ₂ terhadap Parameter Kisi Hasil Sintesis LiNi _{0.9} Mn _{0.05} Co _{0.05} O ₂	30
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Ukuran <i>crystallite</i> (D) dengan penambahan TiO ₂	31
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Diameter NMC berdasarkan hasil SEM	33
Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX.	37
Tabel 4.5 Nilai Intensitas Puncak Arus dan Voltase NMC.	40
Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Kapasitas Spesifik pada masing-masing Sampel.	42
Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Nilai R _s dan R _{ct} pada masing-masing Variasi <i>Coating</i>	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah salah satu faktor penting dalam pencapaian pembangunan berkelanjutan. Sumber energi bumi telah mengalami banyak beberapa pergantian, yang awalnya dari mayoritas menggunakan biomassa misalnya kayu bakar untuk memenuhi kebutuhannya, berubah menjadi fosil berupa minyak, batu bara, dan gas bumi. Penggunaan energi fosil yang terus meningkat menyebabkan emisi gas rumah kaca mengalami kenaikan sehingga iklim menjadi tidak stabil kemudian meningkatnya suhu bumi dan permukaan air laut. Perubahan mendasar dari dominasi energi fosil menjadi energi terbarukan akan berdampak secara signifikan pada banyak aspek kehidupan seperti sosial, ekonomi, dan kondisi lingkungan (Setyono & Kiono, 2021). Indonesia sangat konsen terhadap pengembangan penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) (Setyono & Kiono, 2021).

Dalam produksi energi, tentu diperlukan penyimpanan yang tepat dan efektif agar hasil yang diperoleh bisa maksimal. Dari berbagai macam sumber energi, baterai termasuk bagian yang memiliki peranan sangat besar bagi kebutuhan manusia. Baterai adalah salah satu penyimpanan sumber energi listrik yang berasal dari energi kimia. Penggunaannya sangat diandalkan, karena bisa dibawa kemana-mana atau bersifat portabel. Contoh baterai yang sedang dikembangkan adalah dari jenis ion litium. Terdapat 2 jenis baterai dalam kehidupan sehari-hari, primer dan sekunder. Baterai ion litium mempunyai banyak keunggulan, termasuk dari jenis baterai sekunder yaitu bisa diisi ulang sehingga dapat digunakan secara terus-menerus. Jika dibandingkan dengan baterai yang telah berkembang lebih dahulu seperti *Nickel-Cadmium* (Ni-Cd) dan *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH), baterai ion litium tentu lebih ramah lingkungan. Baterai ini telah mencuri banyak perhatian terhadap dunia elektronik, contohnya kepada para produsen telepon seluler. Selain untuk alat elektronik, baterai ion litium juga sangat dibutuhkan oleh kendaraan yang menggunakan listrik sebagai energinya (Nasution, 2021). Kelebihan baterai ion litium yakni mempunyai stabilitas penyimpanan energi yang sangat baik (daya tahan hingga 10 tahun atau lebih), mempunyai umur penggunaan yang panjang, memiliki tegangan dan densitas energi yang tinggi, memiliki kapasitas spesifik yang besar dan waktu *charging* lebih singkat dibandingkan dengan baterai jenis lain (Manjunatha et al., 2011). *National Battery Research Institute* (NBRI) mengatakan, Indonesia memiliki potensi besar untuk menjadi pemain industri *Battery Electric Vehicle* (BEV) terbesar di Asia Tenggara, yang memiliki kekuatan besar untuk melayani jumlah hingga 340.000 unit kendaraan listrik setiap tahun pada 2030 (Sulistyo, 2021).

Baterai ion litium tersusun atas bagian utama yaitu elektroda negatif (-) sebagai anoda, elektroda positif (+) sebagai katoda, elektrolit, kemudian *separator* (Perdana, 2021). Katoda merupakan komponen penting untuk mendapatkan baterai dengan performa yang baik (Satriady et al., 2016). Namun, masalah yang ditemukan adalah kapasitas katoda pada baterai ion litium lebih kecil dibandingkan anoda, maka diperlukan bahan yang mampu meningkatkan kapasitas katoda yakni salah satunya adalah Nikel (Sebagian et al., 2020). Berdasarkan data *US Geological Survey*, cadangan nikel di Indonesia mencapai 21 juta metrik ton, yang menjadikan Indonesia sebagai pemain utama nikel dunia, disusul oleh Australia dengan cadangan nikel yang mencapai 19 juta metrik ton (Kemenperin, 2019). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat, produksi olahan nikel di Indonesia mencapai 2,47 juta ton pada 2021. Angka ini naik sebesar 2,17% dibandingkan pada tahun sebelumnya yang mencapai 2,41 juta ton (Karnadi, 2022).

Salah satu jenis katoda nikel yang mempunyai keunggulan pada sifatnya yaitu *Nickel Manganese Cobalt* (NMC). Katoda tipe NMC memiliki stabilitas yang lebih baik dibandingkan

Lithium Ferro Phosphate (LFP) dan *Nickel Cobalt Aluminium* (NCA)(Julien et al., 2014). Baterai ion litium kaya akan kandungan nikel, merupakan salah satu yang paling menjanjikan pada katoda dengan densitas energi yang tinggi(Pimenta et al., 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Herzog pada tahun 2021 terhadap katoda atau *Cathode Active Materials* (CAM) baterai ion litium, telah berhasil melakukan peningkatan performa elektrokimia dengan menggunakan metode *coating* secara *dry powder* di permukaan, cara ini termasuk cepat dan hemat biaya dalam prosesnya. Namun proses *coating* ini dilakukan pada $\text{LiNi}_{0.7}\text{Mn}_{0.15}\text{Co}_{0.15}\text{O}_2$ atau NMC 701515, dengan menggunakan serbuk nanopartikel TiO_2 sebanyak 1 wt%. Pengaruh yang didapatkan mampu meningkatkan performa *cycle* pada *High-Nickel* NMC. Lapisan TiO_2 yang terbentuk bisa mencegah retak pada partikel katoda, tidak hanya itu, pengaruh yang diperoleh juga dapat meningkatkan performa laju jika dibandingkan NMC 701515 yang tanpa menggunakan tambahan metode *coating*(Herzog et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) dengan cara menambahkan lapisan atau *surface coating* pada permukaan katoda menggunakan material inorganik salah satunya adalah TiO_2 secara *dry coating*. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, metode ini dalam proses sintesisnya tanpa menggunakan pelarut dan pengikat (*binder*) sehingga dinilai lebih efektif, lebih murah, dan konsumsi energi yang lebih sedikit.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) dengan variasi NMC murni tanpa *coating*, NMC955 dengan *coating* TiO_2 1, 3, dan 5 wt% yang akan dianalisis pengaruh material *coating* tersebut terhadap morfologi dan performa elektrokimia baterai NMC955. Diharapkan tugas akhir ini nantinya dapat bermanfaat sekaligus berkah bagi pengembangan teknologi baterai khususnya di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh penambahan persen massa TiO_2 sebagai material *coating* terhadap morfologi dan performa elektrokimia baterai ion litium $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955).

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Selama proses kalsinasi di dalam *furnace*, temperatur dianggap konstan.
2. Prekursor yang digunakan dianggap murni tanpa pengotor.
3. Putaran pengadukan *ball mill* dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan persen massa TiO_2 sebagai material *coating* terhadap morfologi dan performa elektrokimia baterai ion litium $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan katoda NMC955 yang memiliki karakteristik unggul dan mampu memberikan kinerja yang baik terhadap performa baterai ion litium dalam skala laboratorium, sehingga nanti dapat dimanfaatkan dan menjadi rujukan terhadap penelitian selanjutnya, serta dapat dikembangkan untuk aplikasi yang lebih luas.

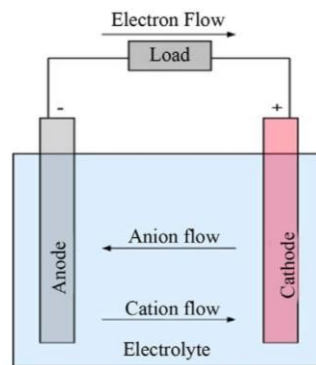
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

Baterai adalah perangkat yang bisa mengonversi energi kimia yang terkandung pada bahan aktif komponen penyusun baterai, menjadi sebuah energi listrik melalui suatu reaksi elektrokimia reduksi dan oksidasi. Reaksi reduksi adalah reaksi penambahan elektron dan penurunan bilangan oksidasi, sedangkan reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron dan penambahan bilangan oksidasi (Satriady et al., 2016). Baterai adalah suatu sel listrik yang di dalamnya terdapat proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensi yang tinggi (Thowil Afif & Ayu Putri Pratiwi, 2015).

Baterai memiliki dua jenis elektroda, katoda sebagai elektroda positif (+) dan anoda sebagai elektroda negatif (-). Ketika perangkat dihidupkan, reaksi kimia terjadi berupa pemindahan elektron dari anoda ke katoda untuk menghasilkan arus listrik. Proses ini disebut proses *discharging* dan proses sebaliknya disebut proses *charging* (Perdana, 2021).



Gambar 2.1 Prinsip kerja Baterai (Biswas et al., 2013).

Gambar 2.1 menampilkan prinsip kerja pada baterai, anoda merupakan elektroda negatif (-) atau yang mengalami oksidasi. Ketika saat pelepasan ion positif (+) kation dan elektron dihasilkan, kation bergerak melewati elektrolit ke arah elektroda positif (+), sementara elektron melewati jalur atau sirkuit eksternal dan hingga mencapai elektroda positif (+). Pada elektroda positif (+) terjadi proses reduksi melalui masuknya elektron dan kation. Namun pada saat pengisian, terjadi proses *reversible* dan elektroda positif (+) menjadi anoda dan elektroda negatif (-) menjadi katoda. Baterai umumnya memiliki 2 jenis, di antaranya baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang tidak dapat diisi ulang atau sekali pakai. Baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi kembali karena reaksi elektrokimianya yang dapat dibalik (Engineering, 2020).

2.1.1 Cara Kerja Baterai

Secara umum kerja baterai dibagi menjadi 2 tahap yaitu *charging* dan *discharging*, proses *charging* terjadi ketika dialirkannya arus listrik yang berlawanan arah dengan arus listrik ketika terjadi *discharging*, maka dari itu elektron mengalir dari katoda ke anoda. Proses reduksi terjadi di elektroda negatif (-) lalu oksidasi terjadi di elektroda positif (+). Kemudian proses *discharging* terjadi ketika suatu sel terhubung pada beban luar, elektron siap mengalir dari anoda dan pada saat bersamaan terjadi proses oksidasi, setelah melalui beban luar elektron menuju katoda, yang merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi. Akhirnya jalur listrik bisa terpenuhi dengan mengalirnya secara berurutan pada anion dan kation menuju anoda dan

katoda. Sedangkan arah elektron itu berlawanan arah dengan aliran energi listrik yang dihasilkan (Tarascon & Armand, 2001).

2.1.2 Karakteristik Baterai

Karakteristik baterai menentukan performa pada baterai selama proses penggunaannya, berikut beberapa karakteristik baterai antara lain:

1. Power Density

Densitas tenaga adalah ukuran seberapa cepat baterai melakukan transfer energi, dalam kata lain, jumlah daya yang ditransfer per satuan *volume*.

2. Life Cycle

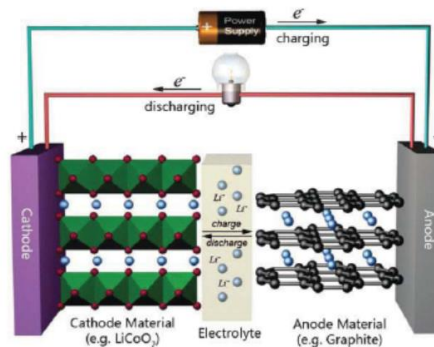
Siklus hidup baterai adalah jumlah dari siklus *charging/discharging* lengkap yang dapat didukung oleh baterai, namun dalam syarat dari kapasitas aslinya, belum turun di bawah 80%.

3. Energy Density

Densitas energi adalah jumlah energi yang bisa disimpan dalam sistem atau suatu massa zat (Z. Liu et al., 2021).

2.2 Baterai Ion Litium

Baterai Ion-Litium merupakan salah satu jenis baterai dengan sumber arus sekunder yang bisa diisi ulang kembali. Pada saat *charging*, material katoda akan terionisasi lalu menghasilkan ion litium bermuatan positif (+) dan berpindah ke dalam elektrolit menuju material anoda, sementara elektron yang diberikan akan dilepaskan bergerak melalui rangkaian luar menuju elektroda negatif (-) atau anoda. Ion litium ini akan masuk ke dalam material anoda melalui mekanisme interkalasi yaitu tanpa terjadi perubahan struktur *crystallite* dari bahan katoda dan anoda. Dan pada saat *discharging* akan terjadi aliran ion dan elektron dengan arah kebalikan dari proses *charging* yang bisa dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Cara kerja Baterai Ion Litium (R. Liu et al., 2011).

Pembentukan ion litium dan elektron terjadi secara bersamaan dari reaksi dasar pada rumus (2.1):

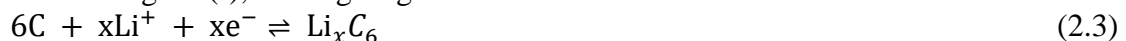


Di mana elektroda katoda dioksidasi dan elektroda anoda berkurang selama proses *charging*, masing-masing reaksi *charging* dan *discharging* sebagai berikut:

Pada elektroda positif (+), berlangsung reaksi:



Pada elektroda negatif (-), berlangsung reaksi:



Secara keseluruhan, seperti berikut:



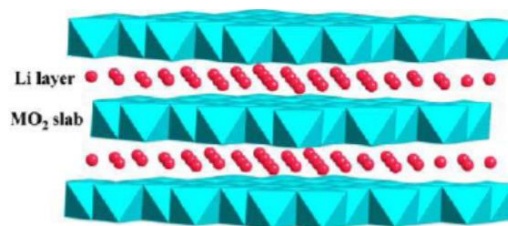
Banyak keunggulan baterai ion litium dibandingkan dengan jenis baterai sebelumnya, diantaranya memiliki *life cycle* yang panjang (500-1000 siklus), memiliki *memory effect* yang kecil, tegangan kerja yang tinggi (3.6 V), dan memiliki kapasitas spesifik lebih tinggi daripada baterai sekunder yang lain. Di masa sekarang, menjadi baterai yang lebih dicari untuk kebutuhan energi listrik misalnya ponsel, *MP3 player*, dan lain-lain. Selain itu, saat ini baterai ion litium sangat dibutuhkan khususnya untuk kendaraan yang sumber energinya berasal dari energi listrik. Berikut **Tabel 2.1** menunjukkan perbedaan performa kimia baterai ion litium jika dibandingkan dengan baterai jenis lain(Siallagan, 2021).

Tabel 2.1 Analisis Performa Spesifikasi Baterai(Farid et al., 2021).

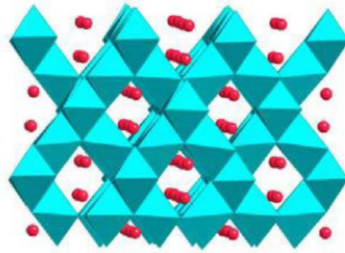
Baterai	Energy density (Wh/kg)	V per cell (V)	Discharge (V)	Charge (V)	Cycle
Lithium-Air	250-1.200	2,85	2,3-2,85	4	50 (dalam lab)
Lithium-Sulfur	2.500	2,1-2,4	2,35	3,8	60 (dalam lab)
All Solid-state	500	2,17	2,17-2,8	3,6	250 (dalam lab)
Lithium-Ion	890	3	3	4,3	500-2.000

2.3 Material Aktif Katoda

Katoda adalah elektroda yang bermuatan positif (+) dari sel baterai ion litium di mana terjadinya reduksi ion litium, atau sederhananya dapat disebut sisi positif (+) dari sel baterai tersebut. Bahan-bahan katoda adalah elektroda yang gunanya sama dengan anoda yaitu pengumpul ion dan material aktif. Tapi, katoda adalah elektroda positif (+). Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi suatu material yang digunakan sebagai katoda antara lain material tersebut terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan dan kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat penggunaan maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan. Selanjutnya dapat dibagi berdasarkan struktur *crystallite* nya, baik struktur *layered* maupun *spinel*(Perdana, 2021). **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4** menampilkan struktur *crystallite* material aktif katoda(Xu et al., 2012).



Gambar 2.3 Struktur *layered Crystallite* LiMO₂(Xu et al., 2012).



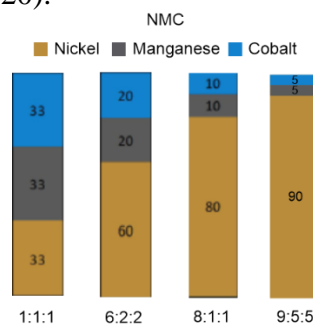
Gambar 2.4 Struktur *spinel Crystallite* LiM_2O_4 (Xu et al., 2012).

Dapat dilihat bahwa ion litium berwarna merah dan biru ialah komponen katoda atau ion logam transisi. Kemudian elektrolit merupakan bagian yang berguna sebagai penghantar ion litium dari anoda ke katoda atau sebaliknya. Elektrolit ini terbagi dalam dua jenis yaitu elektrolit cair dan elektrolit padat. Kedua jenis ini memiliki kelebihan serta kekurangan. Kelebihan dari elektrolit cair antara lain memiliki konduktivitas ionik yang besar, harga yang murah, dan aman. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai elektrolit cair antara lain LiNO_3 , LiClO_4 , Li_2SO_4 , garam LiNO_3 , garam Li_2SO_4 , dan LiPF_6 .

Separator adalah suatu material berpori yang terletak di antara anoda dan katoda berfungsi untuk mencegah agar tidak terjadi hubungan singkat dan kontak antara katoda dan anoda. Selain itu *separator* harus dapat dilewati oleh ion litium dengan baik. Tidak hanya sebagai pembatas antar elektroda, *separator* memiliki peranan penting dalam proses penghasilan listrik, pengisian ulang, dan tentunya keamanan pada baterai ion litium sendiri. Beberapa hal yang penting untuk memilih material agar dipilih sebagai *separator* antara lain material tersebut bersifat insulator, memiliki hambatan listrik yang kecil, kestabilan mekanik (tidak mudah rusak), memiliki sifat hambatan kimiawi untuk tidak mudah terdegradasi dengan elektrolit serta memiliki ketebalan lapisan yang seragam atau sama di seluruh permukaan. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai *separator* antara lain *Polyolefins* (PE dan PP), *Polyvinylidene Fluoride* (PVdF), PTFE, PVC, dan PEG (Perdana, 2021).

2.4 Nickel Manganese Cobalt (NMC)

LiNiMnCoO_2 atau Litium jenis *Nickel Manganese Cobalt* (NMC) adalah pilihan yang banyak dikenal dan digunakan dari kelompok baterai ion litium karena biaya yang relatif rendah, densitas energi, dan voltasenya yang tinggi. Beberapa produsen manufaktur menyebutnya *Nickel Cobalt Manganese* (NCM) bukan NMC tetapi tidak ada perbedaan selain hanya urutan campuran dengan unsur-unsur dalam urutan persentase yang lebih tinggi. NMC adalah struktur *crystallite* berlapis, diatur di *octahedral sites* dalam lapisan bolak-balik atom nikel dan kobalt, atom mangan dan kobalt, dan litium. Bahan NMC adalah senyawa yang stabil secara termal yang mengandung setidaknya satu anion O_2 dan satu kation logam masing-masing nikel, mangan, dan kobalt. **Gambar 2.5** menampilkan beragam komposisi yang sering diproduksi di pasaran (Guan et al., 2020).



Gambar 2.5 Perbandingan Persentase Jenis NMC (Guan et al., 2020).

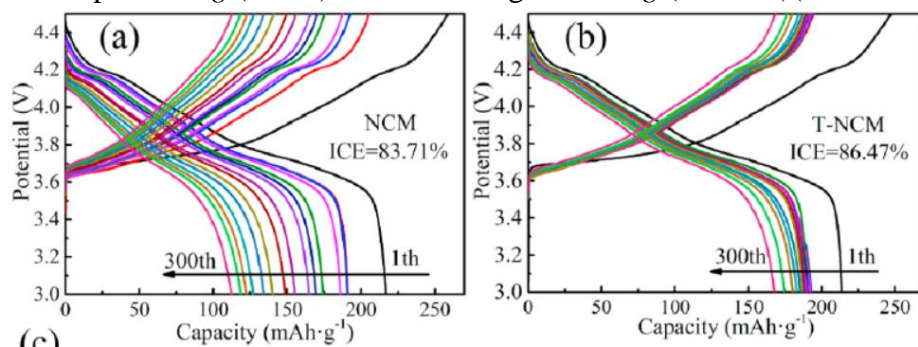
Perpaduan NMC yang kaya akan nikel memberikan kapasitas debit yang tinggi, sementara kombinasi kaya mangan menawarkan siklus hidup dan stabilitas termal yang lebih baik, dan kombinasi kaya kobalt menawarkan kemampuan laju yang lebih baik. *Cell* yang menggunakan manfaat kimia NMC, hal tersebut yang bisa dibilang sudah seimbang satu sama lain, karena dapat menawarkan energi dan kepadatan daya yang sangat baik pada rentang temperatur operasi yang luas dan dapat dengan mudah dibiaskan ke arah energi atau daya tergantung di setiap kebutuhan aplikasi. **Tabel 2.2** menunjukkan perbandingan dari segi ekonomi dari beberapa komposisi baterai NMC. Menjadi sebuah inovasi atau kabar baik yang tetap harus dikembangkan, pada NMC955 harga yang diperoleh bisa lebih terjangkau jika dibandingkan dengan baterai jenis NMC 811 dan NMC 622(Guan et al., 2020).

Tabel 2.2 Perbandingan Jenis NMC dari Segi Kandungan dalam Persentase (%) dan Biaya dalam Dolar (\$) (Guan et al., 2020).

Senyawa	Komposisi									
	xMn	1:1:1			6:2:2		8;1:1		9:5:5	
Ni	5	33	165	60	300	80	400	90	450	
Mn	1	33	33	20	20	10	10	5	5	
Co	24	33	972	20	480	10	240	5	120	
Total harga		990			800		650		575	
Harga mengalami penurunan dari 1:1:1 (%)					19%		34%		42%	

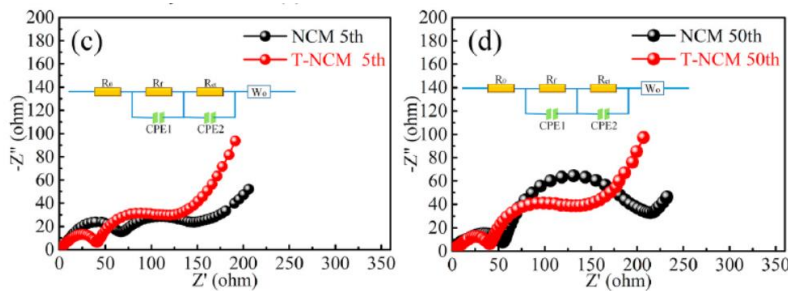
2.5 Performa Elektrokimia

Beberapa jenis pengujian dilakukan agar dapat mengetahui beragam hasil performa elektrokimia yang didapatkan, pada baterai jenis litium, terdapat 3 jenis pengujian yang sering digunakan yaitu *Cyclic Voltammetry (CV)*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*, dan *Charge-Discharge (GCD)*. Pada **Gambar 2.6** menampilkan hasil pengujian GCD untuk NMC murni atau tanpa *coating* (NCM) dan TiO_2 dengan *coating* (T-NCM)(Fan et al., 2020).



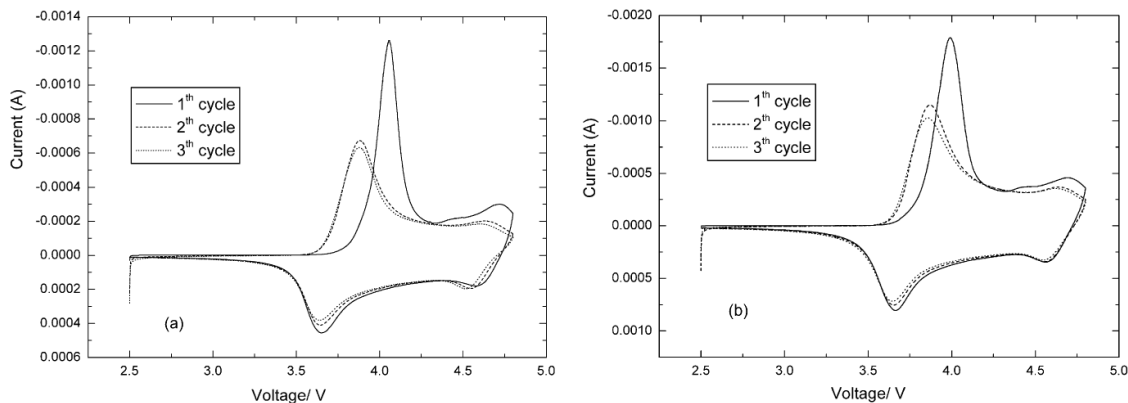
Gambar 2.6 Hasil Uji GCD (a) NCM, (b) T-NCM(Fan et al., 2020).

Dapat dilihat bahwa sifat elektrokimia NCM dan T-NCM tersebut dibandingkan untuk mengevaluasi efek dari pelapisan nanopartikel TiO_2 yang seragam dan profil *charge* dan *discharge* pada *cycle* yang berbeda antara 3,0 sampai 4,5 V masing-masing NCM dan T-NCM. Terbukti meningkatkan *cyclic stability* untuk T-NCM dapat diamati dari kurva *charge* dan *discharge* yang dikemas rapat. Peningkatan efisiensi coulombik awal T-NCM yang diukur pada arus 0,1C menunjukkan bahwa *coating* nanopartikel TiO_2 yang seragam secara efektif menurunkan terjadinya *side reaction* pada *interface* elektroda/elektrolit pada tegangan *cut-off* atas yang tinggi(Fan et al., 2020).



Gambar 2.7 Hasil Uji EIS NCM dan T-NCM (c) 5 cycles (d) 50 cycles (Fan et al., 2020)

Dapat dilihat pada **Gambar 2.7** bahwa Sampel T-NCM pada *charge transfer* (R_{CT}) jauh lebih lambat daripada NCM murni dengan nilai $115,8 < 145,5$ pada 5 cycles, Maksud dari nilai R_{CT} yang lebih kecil tersebut menunjukkan peningkatan pada kinetika reaksi elektroda yang berjalan lebih cepat (Fan et al., 2020).

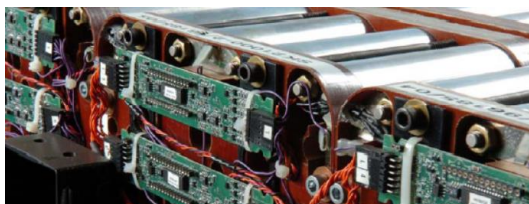


Gambar 2.8 Hasil Uji CV (a) NMC $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ murni; (b) dengan TiO_2 1 wt. % (Wu et al., 2009).

Puncak anodik siklus pertama berpusat di 3.64 dan 4.60 V pada **Gambar 2.8**. Puncak katodik berpusat di 4.06 dan 4.73V. Dalam mengikuti dua siklus, puncak anodik hampir dekat pada tegangan yang sama, tetapi puncak katodik bergeser ke tegangan yang lebih rendah dan katodik daerah menurun tajam dibandingkan dengan siklus pertama. Puncak CV dari 1,0 wt.% NMC $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ berlapis TiO_2 jauh lebih stabil (Wu et al., 2009).

2.6 Aplikasi Baterai NMC Ni-Rich

Sampai saat ini, *Lithium Ion Batteries* (LIBs) telah berhasil menciptakan alat-alat elektronik yang praktis, tidak hanya perangkat portabel seperti seperti laptop, ponsel, dan kamera, tetapi juga skala yang lebih besar seperti kendaraan listrik (Tarascon & Armand, 2001). Banyak perusahaan LIBs serta lembaga penelitian telah berusaha menyediakan densitas energi yang tinggi, bahan yang aman serta ramah lingkungan untuk digunakan di perangkat portabel dan kendaraan listrik. Selanjutnya, berbagai perusahaan mobil telah difokuskan pada riset dan pengembangan LIBs dengan bahan katoda densitas energi yang tinggi untuk meningkatkan jarak tempuh dan mengurangi biaya baterai. Oleh karena itu, pendekatan riset dan pengembangan untuk teknologi baterai saat ini untuk LIBs akan membutuhkan pengembangan baru, alternatif, dan diperlukan kontrol rekayasa untuk mendukung kinerja pengembangan LIBs (Tron et al., 2020).



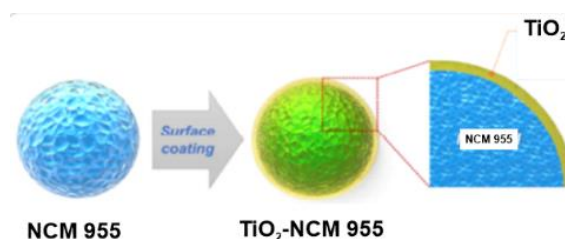
Gambar 2.9 Contoh Aplikasi pada Kendaraan Listrik(Molenda, 2011).

Baterai ion litium berbasis nikel banyak diterapkan sehingga menjadi harapan besar dalam aplikasi skala besar seperti kendaraan listrik seperti pada **Gambar 2.9** dan jaringan seluler pintar yang terus berkembang di masa mendatang guna mewujudkan penerapan EBT sekaligus menurunkan emisi gas yang dinilai tidak ramah lingkungan(Lu et al., 2020).

2.7 Pelapisan Permukaan

Dikarenakan suatu konduktivitas yang rendah dan kapasitas yang cepat menyusut selama *cycle* untuk sebagian besar bahan katoda, para peneliti mencoba untuk memecahkan masalah ini melalui metode modifikasi yang berbeda. *Surface coating* atau pelapisan permukaan adalah salah satu metode yang paling efektif untuk meningkatkan stabilitas termal dan struktural bahan katoda, yang tidak hanya meningkatkan aktivitas permukaan partikel tetapi juga memberikan sifat fisik, kimia dan mekanik baru untuk partikel. Telah ditemukan bahwa sebagian besar lapisan oksida berperan dalam menstabilkan struktur bahan katoda dan secara efektif menghambat interaksi antara elektroda dan elektrolit, sehingga meningkatkan kinerja elektrokimia LIBs(Guan et al., 2020).

Proses pelapisan seperti **Gambar 2.10** telah terbukti untuk meningkatkan retensi kapasitas, performa laju, dan bahkan stabilitas termal bahan katoda untuk baterai ion litium. Lapisan pada permukaan juga dapat bertindak sebagai lapisan perlindungan fisik untuk mencegah atau menekan reaksi kimia antara katoda dan elektrolit yang tidak berair(Engineering, 2020).



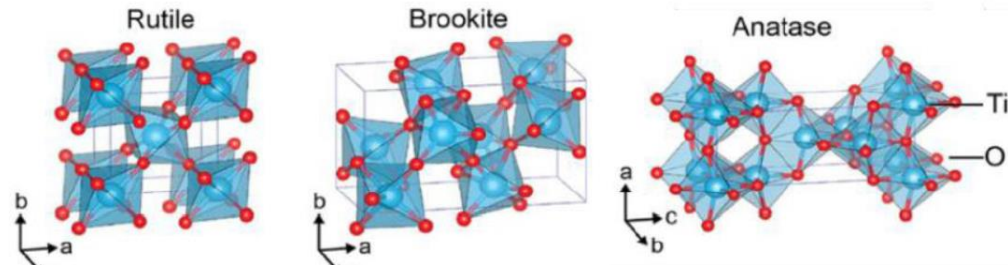
Gambar 2.10 Mekanisme Proses *Dry Coating*(Engineering, 2020).

Sebagian besar modifikasi permukaan oksida logam transisi litium dilakukan dengan metode *wet chemical* seperti pemrosesan *sol-gel* atau pemrosesan larutan seperti merendam bahan katoda ke dalam sol nanoalumina. Namun, metode ini bukanlah proses yang terkontrol dengan baik. Pelapis yang dihasilkan kurang sesuai, seragam, dan lengkap. Maka dari itu metode *dry coating* dinilai mampu menghasilkan *output* yang lebih baik jika dibandingkan dengan yang lain(Engineering, 2020).

2.8 Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium (Ti), unsur ke sembilan yang paling melimpah di kerak bumi dan juga tersebar luas. Konsentrasi rata-rata Ti di kerak bumi adalah 4400 mg/kg. Karena afinitasnya yang besar terhadap O₂ dan unsur-unsur lain, Ti tidak ada dalam keadaan logam di alam. Keadaan oksidasi

Ti yang paling umum adalah +4, tetapi keadaan +3 dan +2 juga ada. Logam Ti, TiO₂, dan TiCl₄ merupakan senyawa yang paling banyak digunakan dalam industri. TiO₂ (CAS-No. 13463-67-7) juga dikenal banyak nama, bisa sebagai titanium (IV) dioksida, *titanic acid anhydride*, *titania*, *titanic anhydride*, atau *Ti white*, adalah oksida alami dari Ti. TiO₂ adalah bubuk putih yang tidak mudah terbakar dan tidak berbau (Shi et al., 2013). Pada **Gambar 2.11** menampilkan struktur *crystallite* dari TiO₂ itu sendiri.



Gambar 2.11 Struktur TiO₂ *Crystallite* (Liao et al., 2020).

Tabel 2.3 Sifat Fisika TiO₂ (Shi et al., 2013).

Berat Molekul	Titik Didih	Titik Leleh	Kerapatan Relatif
79,9 g/mol	2927°C	1843°C	4,26 g/cm ³ pada 25°C

Berdasarkan **Tabel 2.3** di atas, menunjukkan sifat fisika dari TiO₂ Yang titik didihnya sedikit lagi mencapai 3000°C dan titik leleh yang mendekati 2000°C (Shi et al., 2013).

Ukuran partikel dari TiO₂ merupakan faktor kunci yang mendefinisikan kapasitas reversibel dan kinerja tingkat. Ketika ukuran partikel berkurang hingga rentang *nanometer*, akibatnya luas permukaan meningkat dan jalur difusi ion diperpendek sehingga meningkatkan kapasitas penyisipan ion Li. Diterangkan bahwa antara nanopartikel TiO₂ dengan ukuran partikel *crystallite* yang berbeda (7–40 nm) untuk mengeksplorasi dampak ukuran partikel pada reaksi *insertion*. Ditemukan bahwa peningkatan kapasitas Li dan kelarutan ion Li bisa terjadi karena dengan mengecilnya ukuran nanopartikel TiO₂ (Madian et al., 2018).

2.9 Penelitian Sebelumnya

Berbagai penelitian telah menggunakan TiO₂ sebagai material *coating* pada baterai litium. **Tabel 2.4** di bawah ini merupakan penelitian sebelumnya

Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya.

Peneliti	Tipe Ni-Rich	Elektroda	Persentase	Keterangan
Lu, dkk., (2020)	Li _{0,2} Ni _{0,13} Mn _{0,54} Co _{0,13} O ₂	Katoda	3 mol% TiO ₂ -coated	Peningkatan kapasitas retensi dan performa <i>cycling stability</i>
Wu dkk., (2009)	LiCo _{0,3} Ni _{0,3} Mn _{0,3} O ₂	Katoda	1 wt% TiO ₂ - coated	Peningkatan performa <i>cycle</i> dan <i>rate capability</i> , dan juga pada retensi menjadi 99% yang semula 86,6% pada 12 siklus

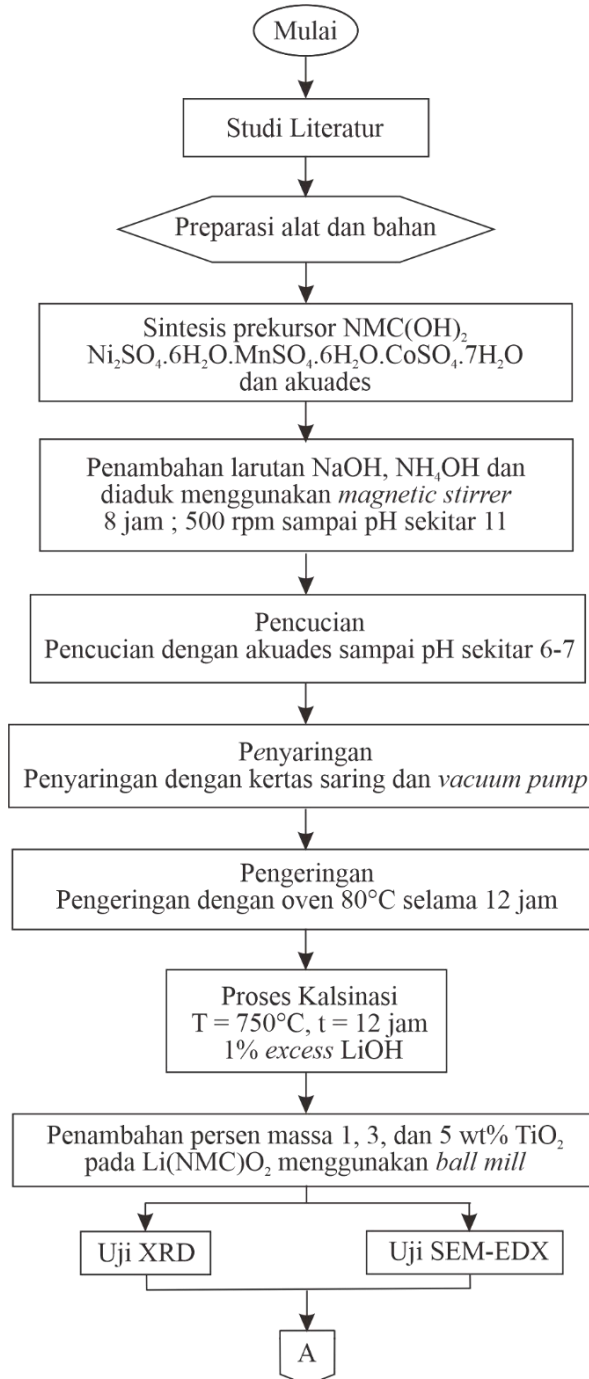
Peneliti	Tipe Ni-Rich	Katoda	Persentase	Keterangan
Fa, dkk., (2020)	$\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$	Katoda	1.5 wt% <i>TiO₂-coated</i>	Peningkatan <i>cycling stability</i> sangat baik dan juga retensi 72,2% 500 siklus
Mylavarapu , dkk., (2021)	$\text{LiNi}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$	Katoda	2 wt% <i>TiO₂-coated</i>	Peningkatan <i>cycle stability, rate performance</i> , dan konduktivitas elektronik
Herzog, dkk., (2021)	$\text{LiNi}_{0.7}\text{Mn}_{0.15}\text{Co}_{0.15}\text{O}_2$	Katoda	1 wt% <i>TiO₂-coated</i>	Peningkatan <i>cycle stability, rate capability</i> , mencegah retak, dan disintegrasi partikel

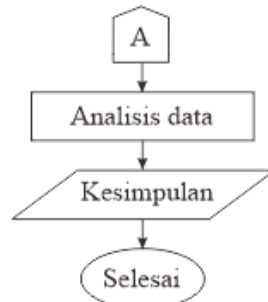
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

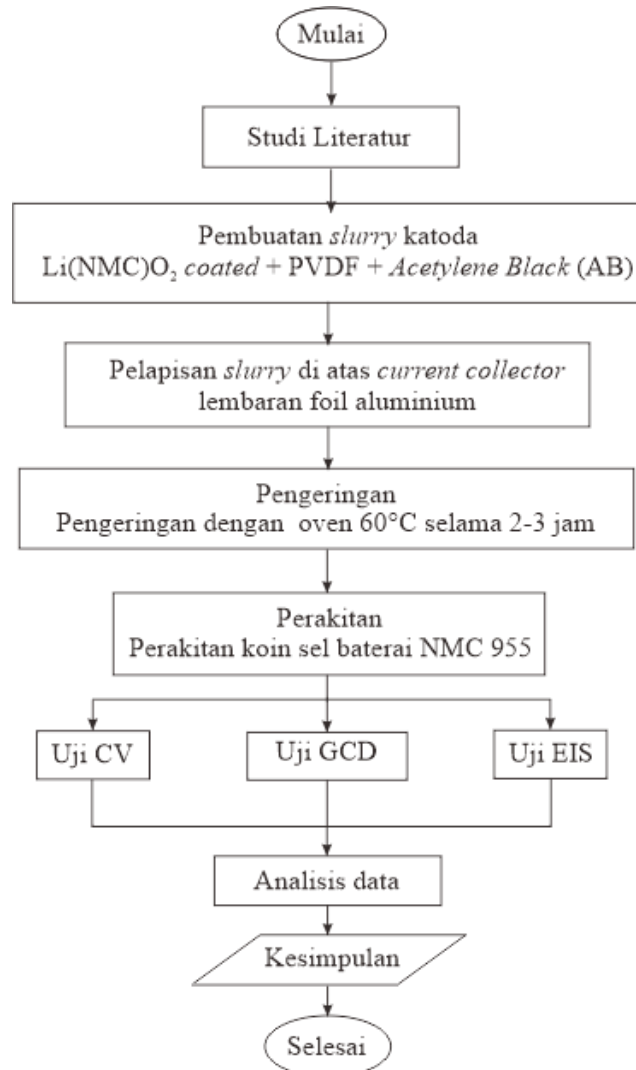
3.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini memiliki berbagai tahapan, **Gambar 3.1** menampilkan diagram alir preparasi prekursor dan **Gambar 3.2** perakitan baterai sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Preparasi Prekursor.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Perakitan Baterai.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. *Magnetic stirrer*
Alat yang digunakan untuk memanaskan dan mengaduk larutan agar homogen.
- b. Mortar dan alu
Alat yang digunakan untuk menghancurkan dan menghaluskan bahan seperti serbuk.
- c. *Tube furnace*

- Alat yang digunakan untuk proses pemanasan bahan penelitian dengan temperatur tinggi.
- d. Oven
Alat yang digunakan sebagai tempat untuk melakukan pengeringan bahan.
 - e. *Vacuum pump*
Alat yang digunakan dalam proses filtrasi untuk mengeluarkan kandungan H₂O.
 - f. *Ball mill*
Alat yang digunakan untuk mengurangi ukuran partikel agar serbuk lebih halus.
 - g. *Hydraulic press*
Alat yang digunakan untuk menekan katoda agar melekat dengan baik dengan lembaran.
 - h. *Glove box*
Alat yang digunakan untuk proses perakitan baterai.
 - i. Alat uji karakterisasi morfologi dan struktur material.
 1. *X-Ray Diffraction (XRD)*.
 2. *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*.
 - j. Alat uji performa elektrokimia
 1. *Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)*.
 2. *Cyclic Voltammetry (CV)*.
 3. *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*.

3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. NiSO₄.6H₂O
- b. MnSO₄.H₂O
- c. CoSO₄.7H₂O
- d. Akuades
- e. NaOH
- f. NH₄OH
- g. LiOH
- h. Nanopartikel TiO₂
- i. *Lithium metal*
- j. *Aluminium coil* d = 1,8 cm (CR2032)
- k. Foil Aluminium
- l. *Polyvinylidene Fluoride (PVDF)*
- m. *Acetylene Black (AB)*
- n. *Lithium Hexafluorophosphate (LiPF₆)* larutan elektrolit
- o. *N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP)*

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut

3.3.1 Proses Pencampuran Prekursor NMC(OH)₂

Seperti pada **Gambar 3.3**, preparasi yang pertama dilakukan yaitu NiSO₄.6H₂O, MnSO₄.H₂O, dan CoSO₄.7H₂O dicampurkan. kemudian dituangkan campuran tersebut ke dalam akuades. Selanjutnya larutan NaOH dan NH₄OH dicampurkan secara bergantian dan perlahan dengan menggunakan *magnetic stirrer* sebagai pengaduk dengan temperatur 60°C sampai pH sekitar 11.



Gambar 3.3 Proses Pencampuran Prekursor.

3.3.2 Proses Pencucian dan Penyaringan

Proses yang dilakukan seperti **Gambar 3.4** dengan cara larutan $\text{NMC}(\text{OH})_2$ dibilas dengan akuades yang bertujuan untuk menghilangkan sisa pengotor saat proses preparasi prekursor. Proses ini dilakukan sampai larutan mendapatkan pH sekitar 6-7, kemudian disaring menggunakan kertas saring berukuran 5-10 μm dengan bantuan *vacuum pump*.



Gambar 3.4 Proses Pencucian dan Penyaringan.

3.3.3 Proses Pengeringan

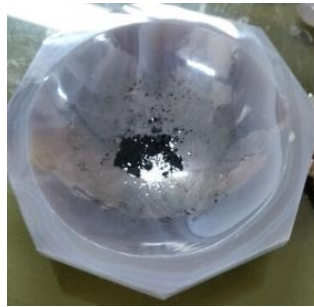
Setelah kandungan air pada kertas saring berkurang, tahap selanjutnya yaitu dikeringkan di dalam oven seperti **Gambar 3.5** dengan temperatur 80°C selama 12 jam.



Gambar 3.5 Proses Pengeringan.

3.3.4 Proses Penambahan LiOH

Proses sintesis katoda $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ diawali dengan dicampurkannya prekursor $(\text{NMC})\text{OH}_2$ yang sudah kering dengan LiOH seperti **Gambar 3.6**. Tujuan dari proses ini adalah untuk proses pembentukan material. Setelah kedua bahan tercampur, langkah selanjutnya adalah campuran prekursor $(\text{NMC})\text{OH}_2$ dan LiOH digerus di mortar sampai serbuk benar-benar tercampur halus, lalu dimasukkan ke dalam *crucible*. Pada penelitian ini dengan ditambahkan sebanyak 1% *excess* LiOH.



Gambar 3.6 Proses Penambahan LiOH.

3.3.5 Proses Kalsinasi

Proses kalsinasi dilakukan dengan cara *crucible* dimasukkan yang berisi campuran $(\text{NMC})\text{OH}_2 + \text{LiOH}$ ke dalam *tube furnace* seperti **Gambar 3.7** dengan menggunakan temperatur 750°C yang ditahan selama 12 jam serta dialiri gas oksigen. Proses kalsinasi dilakukan dengan tujuan gugus OH dihilangkan dan sisa pelarut menguap untuk mendapatkan bahan yang bisa lebih padat.



Gambar 3.7 Proses Kalsinasi.

3.3.6 Proses Pengadukan

Setelah didapatkan serbuk padatan dari hasil kalsinasi, kemudian diaduk dengan *ball mill* dengan 600 rpm selama 60 menit seperti **Gambar 3.8** untuk mengurangi ukuran partikel agar serbuk lebih halus.



Gambar 3.8 Proses Pengecilan Partikel dengan *Ball Mill*.

3.3.7 Proses *Dry Coating*

Proses untuk melapisi permukaan katoda dengan diaduk dengan *ball mill* seperti **Gambar 3.9**. Proses pelapisan dimulai dengan serbuk $\text{Ni}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ dicampur dengan nanopartikel TiO_2 ke dalam *chamber* dengan ditambahkan 3 variasi persen massa yakni 1, 3, dan 5 % TiO_2 , dengan catatan yang digunakan adalah 600 rpm selama 1 menit kemudian dilanjutkan dengan 1000 rpm selama 60 menit.



Gambar 3.9 Proses *Dry Coating* dengan *Ball Mill*.

3.3.8 Proses Persiapan *Slurry*

Serbuk yang sudah dikalsinasi dan selesai proses *dry coating* kemudian disiapkan untuk dibuat *slurry* atau bahan aktif. *slurry* yang dimaksud adalah campuran dari serbuk $\text{Ni}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ dan yang sudah dilapisi dengan *Acetylene Black* (AB) sebagai bahan konduktor dan *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) yang bertindak sebagai material *binder* dengan perbandingan 90:5:5. Kemudian diletakkan campuran dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan 400 rpm dengan temperatur ruangan selama 24 jam seperti **Gambar 3.10**, kemudian dituangkan ke lapisan foil aluminium hingga merata dengan baik.



Gambar 3.10 (a) Proses Pengadukan *Slurry*; (b) Pelapisan pada Foil Aluminium.

3.3.9 Proses Persiapan Katoda

Agar kandungan NMP hilang dan hasil katoda sesuai yang diharapkan, maka foil aluminium yang sudah dilapisi oleh *slurry* katoda kemudian dikeringkan dengan oven agar mengering secara merata seperti **Gambar 3.11** dengan temperatur 60°C selama 12 jam. Kemudian setelah selesai, katoda dipotong sesuai ukuran koin sel lalu ditekan dengan mesin tekan hidrolik agar menempel dengan lebih baik.

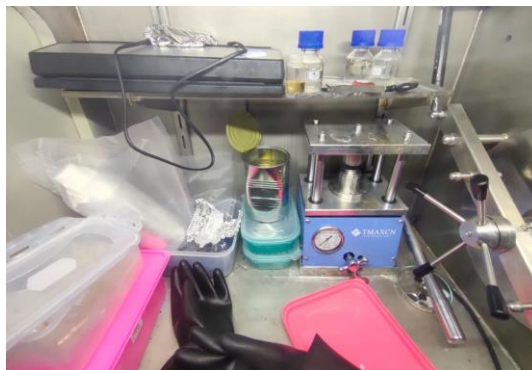


Gambar 3.11 Proses Pengeringan.

3.3.10 Proses Perakitan Baterai

Proses perakitan atau *assembly* seperti **Gambar 3.12** merupakan proses dirakitnya komponen seperti anoda, katoda, dan elektrolit menjadi sebuah baterai yang siap diuji. Terdapat beberapa proses yang perlu dilakukan sebagai berikut:

1. Disiapkan katoda $\text{Ni}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ yang sudah dipotong bulat dengan diameter 1,8 cm, *lithium metal* sebagai anoda, *separator*, LiPF_6 sebagai elektrolit dan *aluminium coil* tipe CR2032.
2. Dilakukan proses perakitan di dalam *glove box* dengan kondisi atmosfer berisi gas argon, agar tidak terjadi oksidasi pada bahan-bahan yang akan dirakit untuk menjadi baterai.
3. Dilakukan proses *clamping* pada baterai yang sudah dirakit menggunakan mesin tekan hidrolik yang ada di dalam *glove box*.



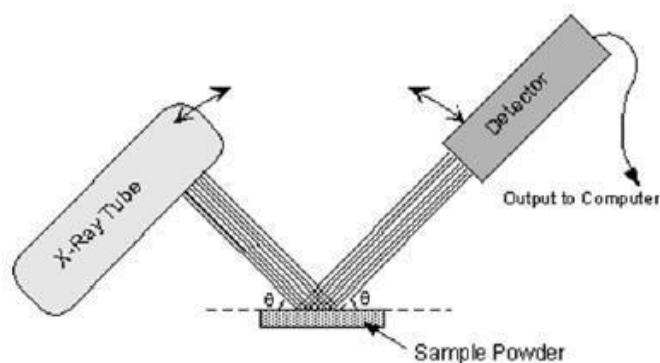
Gambar 3.12 Proses Perakitan Baterai.

3.4 Pengujian

Adapun beberapa pengujian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

3.4.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui unsur atau senyawa yang terbentuk pada sampel. Pengujian ini memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Secara umum prinsip kerja XRD dapat dilihat pada **Gambar 3.13** yaitu generator tegangan tinggi yang berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian *x-ray tube*.



Gambar 3.13 Prinsip Kerja XRD (Muliastri et al., 2018).

Sampel berbentuk serbuk yang sudah dimampatkan diletakkan di atas wadah yang bisa diatur letaknya, kemudian berkas sinar-X ditembak ke sampel dan sinar-X didifraksikan oleh sampel, kemudian berkas sinar-X masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh *detector* dan diterjemahkan dalam bentuk kurva. Semua sampel grafena dianalisis menggunakan XRD dengan mesin *PANalytical* seperti yang terlihat pada **Gambar 3.14**. Dalam

pengujian ini sampel harus dihaluskan terlebih dahulu menggunakan mortar supaya serbuk grafena lebih halus lagi. Dikarenakan jika serbuk kurang halus maka permukaan yang diperoleh tidak rata dan dapat berpengaruh pada hasil difraksi sinar-X yang didapat. Untuk menganalisis hasil XRD pada umumnya menggunakan *Joint Committee of Powder Diffraction Standards* (JCPDS) atau juga *hanawalt*.



Gambar 3.14 Alat Uji XRD(Muliastri et al., 2018).

Metode XRD menggunakan tabung sinar-X yang menembak pada sampel padatan *crystallite*. kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi hukum *Bragg*. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan *crystallite* memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel *crystallite* yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X memenuhi persamaan (3.1) sebagai berikut:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (3.1)$$

dengan keterangan

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

λ = panjang sinar-X (nm)

d = jarak kisi (nm)

θ = sudut difraksi ($^{\circ}$)

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) \quad (3.2)$$

Persamaan di atas, untuk nilai d didapat dari sampel. Nilai h , k , dan l didapat dari JCPDS *Card* acuan dengan *peak* yang bersesuaian dengan sampel pengujian. Pada karakterisasi material menggunakan pengujian XRD salah satunya yaitu dapat menentukan nilai ukuran *crystallite* (D) yang menggunakan persamaan *Scherrer*. Berikut merupakan rumus persamaan *Scherrer*:

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.3)$$

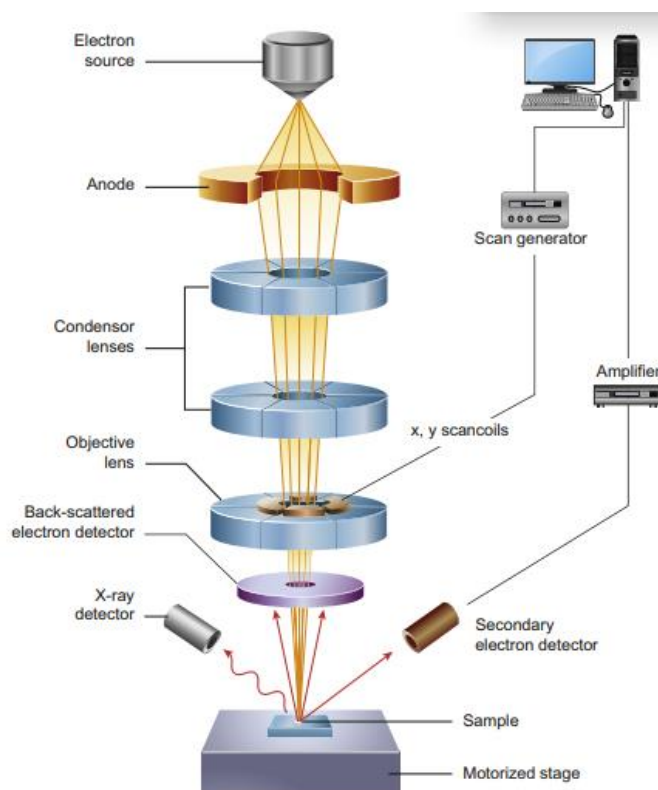
Di mana D adalah ukuran *crystallite* (nm), λ merupakan panjang gelombang C-K α pada instrumen PANanalytical sebesar 1.5406 nm. β merupakan lebar setengah puncak dari puncak difraksi tertinggi.

Tabel 3.1 Informasi Pengujian XRD.

No	Karakter	Informasi dari Material
1	Posisi puncak (2θ)	<ul style="list-style-type: none"> • Fasa • Identifikasi <i>crystallite</i> • Struktur <i>crystallite</i>
2	Tinggi puncak (intensitas)	<ul style="list-style-type: none"> • Parameter kisi • Regangan seragam • Identifikasi • Komposisi
3	Lebar dan bentuk puncak	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran <i>crystallite</i> (bukan partikel atau <i>grain</i>)

3.4.2 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Prinsip kerja SEM ditunjukkan oleh **Gambar 3.15** yaitu berkas elektron yang dihasilkan oleh *electron gun* menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan *Secondary Electron* (SE), elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor.



Gambar 3.15 Prinsip Kerja SEM(Biswas et al., 2013).

Sinyal keluaran dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah

elektron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan *secondary electron* ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan *Backscattered Electron* (BE). BE memberikan perbedaan kehitaman gambar berdasarkan nomor atom (Z) dari unsur-unsur fasa yang ada pada sampel. Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil (Di Gianfrancesco, 2017). Alat mesin pengujian SEM-EDX yang digunakan ditampilkan pada **Gambar 3.16** di bawah berikut:



Gambar 3.16 Alat Pengujian SEM-EDX.

Pengujian SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro, Semarang. Sampel yang digunakan berupa serbuk *uncoated* dan beberapa variasi *coated* NMC. Sampel diamati dengan beberapa perbesaran mikroskop agar didapatkan data mengenai morfologi dan struktur dari NMC yang terbentuk.

3.4.3 Cyclic Voltammetry (CV)

CV adalah suatu teknik karakterisasi dengan menganalisis kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan informasi yang terjadi di dalam sel elektrokimia. Alat ini menggunakan prinsip 3 buah elektroda yang bekerja secara simultan yaitu elektroda referensi untuk mengukur beda potensial, elektroda uji (*working electrode*), dan elektroda penghitung (*counter electrode*). Secara umum pada CV, potensial dilakukan secara bolak-balik (Peng et al., 2014).

Instrumen CV yang digunakan adalah *Corrtest* (CS350 *potentiostat-corrtest*) yang tersedia di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material, di Gedung Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS seperti **Gambar 3.17**. Alat CV menghasilkan data dari respon material terhadap rentang tegangan yang diberikan berupa nilai arus terhadap tegangan. Jika diplotkan antara nilai arus dan nilai tegangan maka akan dihasilkan kurva *cyclic voltammogram*.



Gambar 3.17 Instrumen CS350.

Pada penelitian ini pengujian CV digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda. Voltametri merupakan suatu metode elektroanalisis yang didasarkan pada prinsip elektrolisis dari suatu larutan yang mengandung analit elektroaktif dan reaksi terjadi pada elektroda logam dengan larutan elektrolitnya. Elektroda pada sel elektrokimia terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembanding, dan elektroda bantu.

3.4.4 *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

EIS adalah teknik analisis baterai yang menggunakan arus *Alternating Current (AC)* untuk menemukan impedansi pada elektroda, dari situ maka mekanisme reaksi elektrokimia dapat diketahui.

Impedansi adalah kemampuan suatu rangkaian untuk memberikan tahanan kepada arus listrik. *Charge Transfer Resistance (R_{CT})* salah satu parameter yang terpenting untuk karakterisasi secara kuantitatif pada laju reaksi elektroda. Normalnya, sebuah R_{CT} yang besar mengindikasikan adanya sebuah reaksi elektrokimia yang lambat. R_{CT} dapat dikalkulasi dari EIS, yang mana nilainya adalah sama dengan diameter *compressed semicircle* pada daerah frekuensi medium (Noerochim, 2012).

Pengujian EIS dilakukan menggunakan instrumen CS350 *potentiostat/galvanostat* seperti **Gambar 3.17** dengan mengaplikasikan gelombang sinus dengan 10 mV dan pada rentang frekuensi 100 kHz – 0.1 Hz.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (3.4)$$

Di mana ρ adalah resistivitas (ohm.cm), R adalah resistan (ohm), A adalah area (cm²), dan l adalah ketebalan (cm), kemudian lanjut pada rumus:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.5)$$

Di mana σ adalah konduktivitas (ohm⁻¹.cm⁻¹) dengan nilai ρ adalah resistivitas (ohm.cm).

3.4.5 *Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)*

Pengujian *charge-discharge* ini menggunakan alat *neware coin cell battery tester CT-4008-5V10mA-164 double range cyler* yang dilakukan di Ruang Potentiostat Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material yang berada di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS seperti **Gambar 3.18**. Pada penelitian ini dilakukan pengujian sebanyak 100 *cycles* dengan *C-rate* sebesar 0.5 C.



Gambar 3.18 Instrumen GCD.

Pengujian *charge-discharge* berfungsi untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menyimpan energi. Kapasitas energi atau muatan dinyatakan dalam satuan mAh/gr. Tes *charge-discharge* dilakukan dengan kepadatan arus konstan. Kapasitas (Q) dapat dihitung berdasarkan waktu *charge-discharge* menggunakan persamaan berikut (Noerochim, 2012).

$$Q = I \times t \quad (3.6)$$

dengan keterangan,

Q = kapasitas (mAh/g)

I = arus (mA)

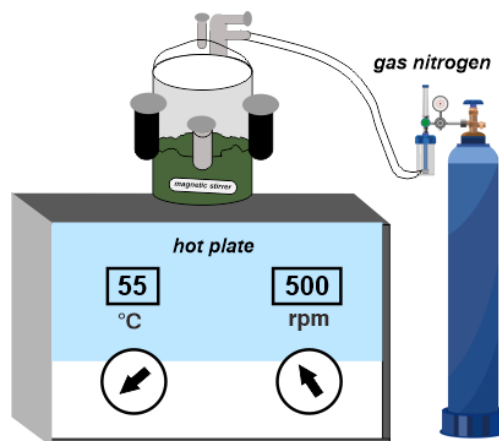
t = waktu (jam) (Noerochim, 2012).

Sedangkan pada persamaan di bawah, dapat diketahui seberapa besar persentase kapasitas mengalami degradasi atau penurunan, atau bisa disebut sebagai *capacity loss*.

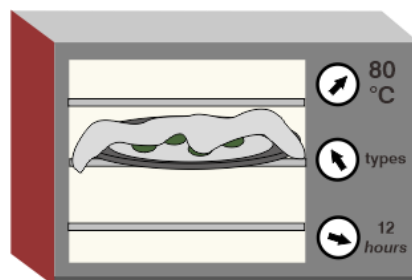
$$Capacity\ loss = \frac{Discharge\ awal - Discharge\ terakhir}{Discharge\ awal} \times 100\% \quad (3.7)$$

3.5 Rancangan Penelitian

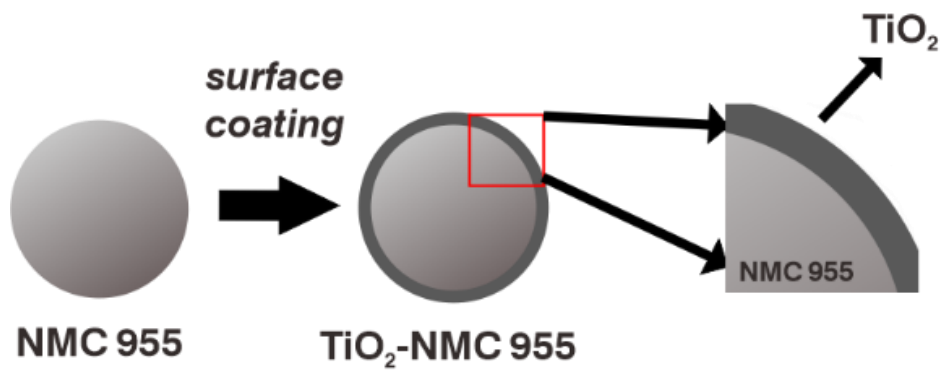
Berikut merupakan skematik peralatan yang digunakan dalam proses sintesis baterai ion litium NMC dengan *coating* nanopartikel TiO₂. Pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.19** sampai **Gambar 3.22**



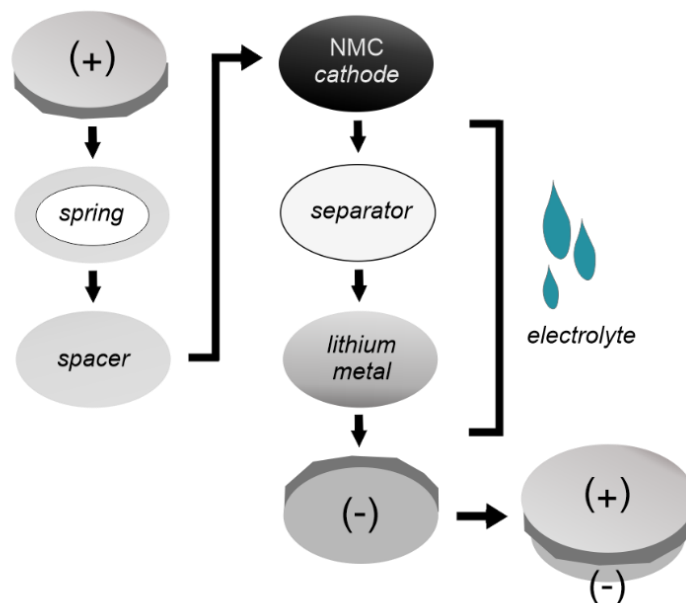
Gambar 3.19 Skema Peralatan Proses Sintesis.



Gambar 3.20 Skema Peralatan Proses Pengeringan.



Gambar 3.21 Skema Perubahan Katoda NMC955.



Gambar 3.22 Skema Proses Perakitan Baterai.

Berikut merupakan tabel pelaksanaan penelitian yang dilakukan pada penelitian kali ini yang ditunjukkan pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Pelaksanaan Penelitian.

Variasi Massa TiO_2 pada NMC955	Pengujian Karakterisasi		Pengujian Elektrokimia		
	XRD	SEM-EDX	CV	EIS	GCD
<i>uncoated</i>	✓	✓	✓	✓	✓
1 wt%	✓	✓	✓	✓	✓
3 wt%	✓	✓	✓	✓	✓
5 wt%	✓	✓	✓	✓	✓

3.6 Jadwal Penelitian

Berikut merupakan jadwal penelitian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini yang ditunjukkan pada **Tabel 3.3**

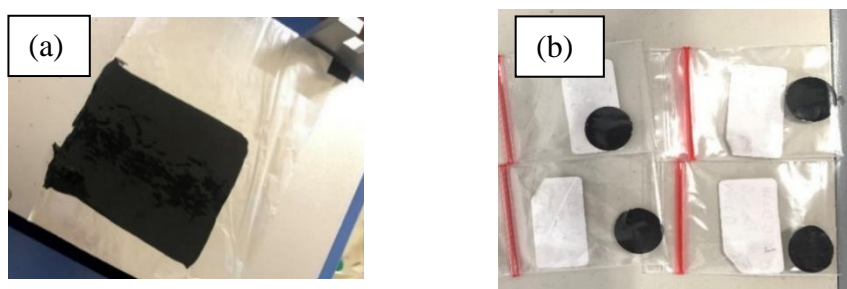
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian.

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■																
Asistensi Dosen Pembimbing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Laporan			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Preparasi Alat & Bahan		■	■																	
Sintesis NMC					■	■	■	■												
Pembuatan Katoda									■	■	■									
Assembly Baterai									■	■										
Pengujian													■	■	■					
Analisis Data dan Pembahasan																	■	■	■	■

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Sintesis NMC(OH)₂

Sintesis katoda baterai ion litium NMC955 dengan penambahan persen massa TiO₂ sebagai material *coating* yang telah dibuat, seperti **Gambar 4.1** dapat menunjukkan bagaimana hasil *coating* pada katoda yang telah dibuat, mulai dari pengadukan, pengeringan, pemotongan, hingga penekanan. Hasil dari pengujian karakterisasi mulai dari XRD dan SEM-EDX, serta juga untuk performa elektrokimia, akan dianalisis dan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

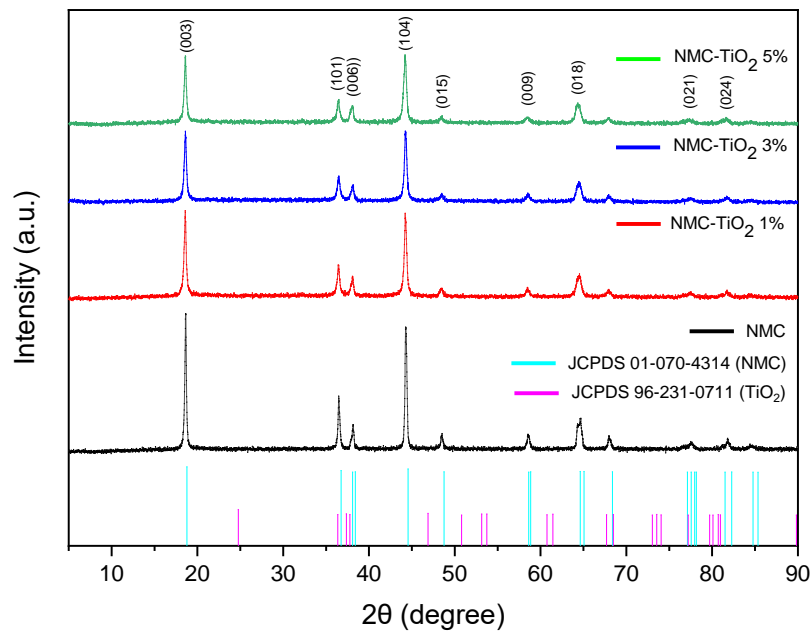


Gambar 4.1 (a) Hasil *Coating Slurry* Katoda, (b) Setelah proses pengeringan, pemotongan, dan penekanan.

4.2 Hasil Karakterisasi

4.2.1 Hasil Pengujian dan Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan pada material LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ dengan penambahan *coating* TiO₂ dengan variasi 1%, 3%, dan 5% untuk mengidentifikasi struktur *crystallite*, fasa, dan komposisi yang terjadi. Pengujian dilakukan dengan difraksi sinar X (XRD, PANAnalytical) menggunakan C-K α , posisi 2 θ , posisi awal sebesar 5.0084 dan posisi akhir sebesar 89.9744 dengan rentang sudut 5° sampai 90° yang ditampilkan dalam grafik puncak intensitas terhadap 2 θ . **Gambar 4.2** menunjukkan pola XRD dari LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ murni dan penambahan *coating* TiO₂ dengan variasi 1%, 3%, dan 5%. Pola XRD menunjukkan bahwa terbentuk puncak difraksi pada posisi sudut 2 θ sekitar 18.7°, 36.7°, 38.1°, 44.5°, 48.8°, 58.6°, 64.6°, 77.1°, dan 82.2°. Pada posisi sudut 2 θ tersebut terbentuk bidang masing-masing di antaranya (003), (101), (006), (104), (015), (009), (018), (021), dan (024). Penggunaan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) *Card* digunakan untuk mengetahui kesesuaian LiNi_{0.9}Mn_{0.05}Co_{0.05}O₂ yang didapatkan. Struktur dari NMC berdasarkan literatur yaitu berbentuk heksagonal yang mana merujuk pada dua *peak* utama yaitu (003) dan (104) yang sesuai dengan data JCPDS *Card* No.01-070-4314. Adapun data JCPDS *Card* 96-231-0711 merupakan data dari TiO₂. Dapat dibuktikan bahwa material *coating* yang digunakan untuk melapisi NMC tidak sampai merubah struktur *crystallite* yang dihasilkan dari grafik XRD.



Gambar 4.2 Hasil XRD NMC.

Peristiwa tersebut terjadi karena adanya kemiripan pada jari-jari ion Li^+ dan Ni^{2+} pada kisi material NMC dan memungkinkan ion Ni^{2+} untuk bermigrasi ke lapisan Li (Kim et al., 2019). Hasil dari *cation mixing* yang rendah membuat sifat elektrokimia pada material NMC menjadi lebih baik. Pada hasil data XRD, untuk menentukan nilai dari *cation mixing* yakni menggunakan nilai dari $I(003)/I(104)$. Dari hasil yang diperoleh, nilai dari $I(003)/I(104)$ pada masing-masing sampel NMC serta variasi penambahan *coating* yang 1, 3, dan 5% adalah 1.113, 1.034, 0.988, dan 1.063. Dapat disimpulkan bahwa $\text{Li}^+/\text{Ni}^{2+}$ *mixing* di sampel NMC dengan variasi 3% dibandingkan dengan sampel NMC yang lain. Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh nilai parameter kisi dari ketiga sampel yang ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Pengaruh penambahan Persen Massa TiO_2 terhadap Parameter Kisi Hasil Sintesis $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$.

Parameter Kisi (nm)	Acuan JCPDS 01-070-4314 (0%)	Variasi			
		0%	1%	3%	5%
a=b	2.86	2.88	2.881	2.883	2.888
c	14.161	14.275	14.333	14.286	14.318
c/a	4.951	4.957	4.975	4.955	4.958

Berdasarkan data tersebut bahwa nilai a, b, dan c yang serupa dan menunjukkan kesesuaian terhadap data acuan JCPDS 01-070-4314. Terbukti bahwa struktur *crystallite* dari hasil sintesis prekursor NMC dan dengan variasi *coating* 1, 3, dan 5% memiliki struktur heksagonal. Dalam kata lain, keberadaan material *coating* tidak merubah struktur *crystallite*. Dapat ditunjukkan dari tabel di atas bahwa terjadi pelebaran parameter kisi c di sampel *coating* 1% dibandingkan dengan variasi lainnya.

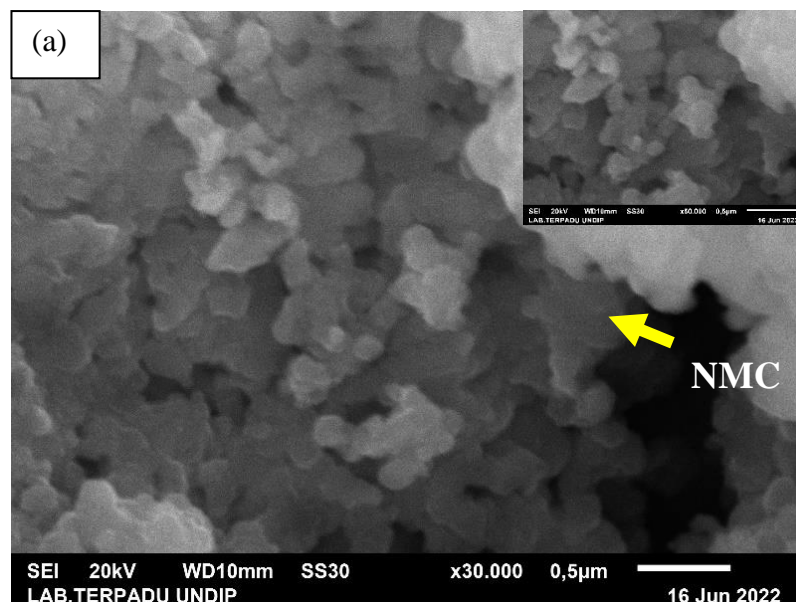
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Ukuran *crystallite* (D) dengan penambahan TiO₂.

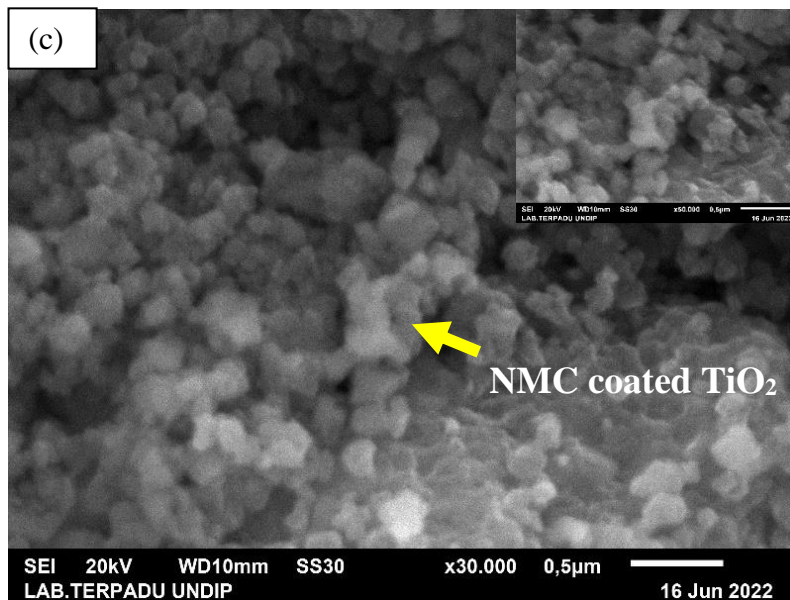
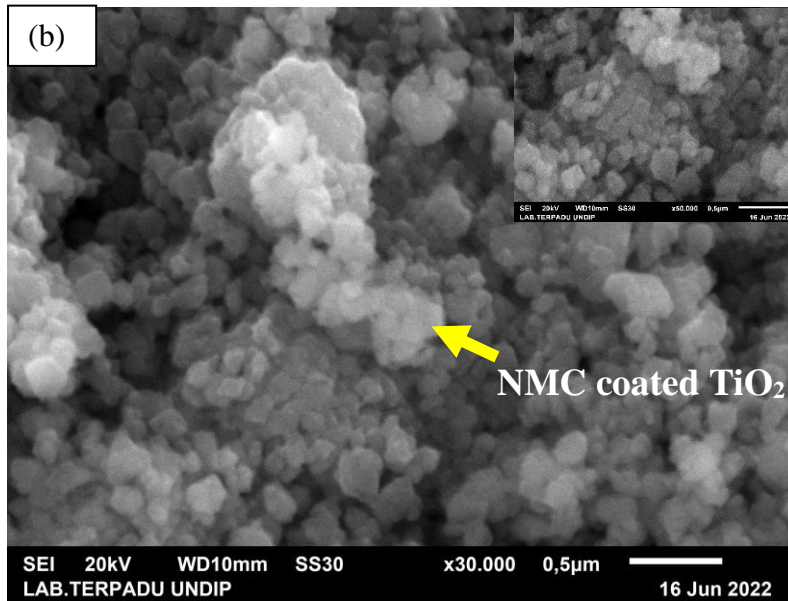
Variasi (%)	FWHM (rad)	θ	$\cos \theta$	D (nm)
0	0.00292	18.6482	0.98679	50.3224
1	0.00233	18.5717	0.98690	63.0578
3	0.00320	18.6332	0.98681	45.9182
5	0.00233	18.5921	0.98687	63.0597

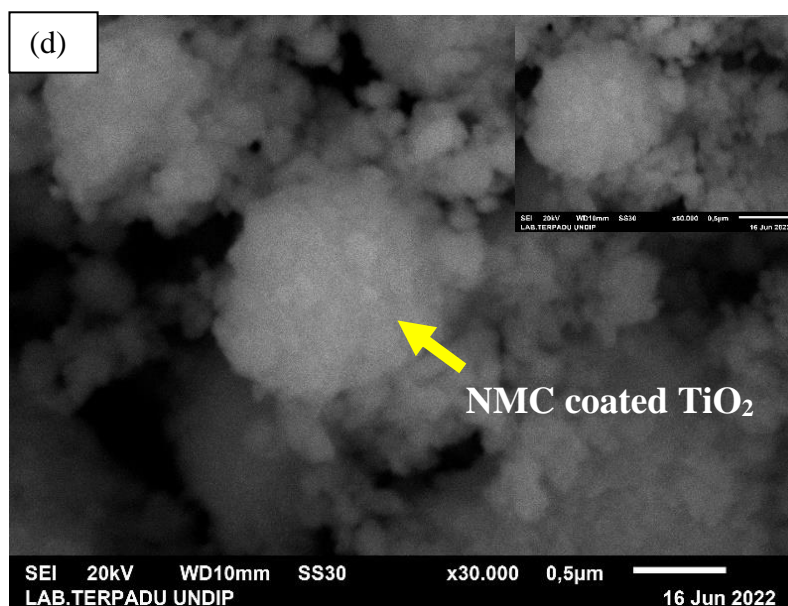
Dari hasil **Tabel 4.2** di atas terlihat bahwa pengaruh penambahan TiO₂ menyebabkan ukuran *crystallite* meningkat kecuali pada variasi 3%. Meningkatnya konduktivitas baterai berjalan seiring dengan ukuran *crystallite* yang semakin kecil, dapat memperpendek jalur difusi Li⁺ ke dalam katoda. Namun pada pengujian kali ini, ukuran *crystallite* yang dihasilkan semakin kecil hanya terjadi pada sampel 3%, berbeda dengan 1% dan 5% yang justru semakin meningkat.

4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisis *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

Pengujian morfologi dengan SEM dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai morfologi mikro. Pengujian EDX bertujuan untuk mengetahui komposisi pada permukaan material dan persebaran unsur NMC yang dipetakan dengan metode *mapping*. Pengujian SEM-EDX dilakukan alat SEM-EDX yang ada di Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro dengan perbesaran yang digunakan adalah sebanyak 10.000, 15.000, 30.000, dan 50.000 kali. Pada penelitian ini terkait perbesaran dilakukan untuk menganalisis suatu morfologi NMC murni dan yang sudah di-*coating* dengan variasi 1, 3, dan 5% TiO₂.







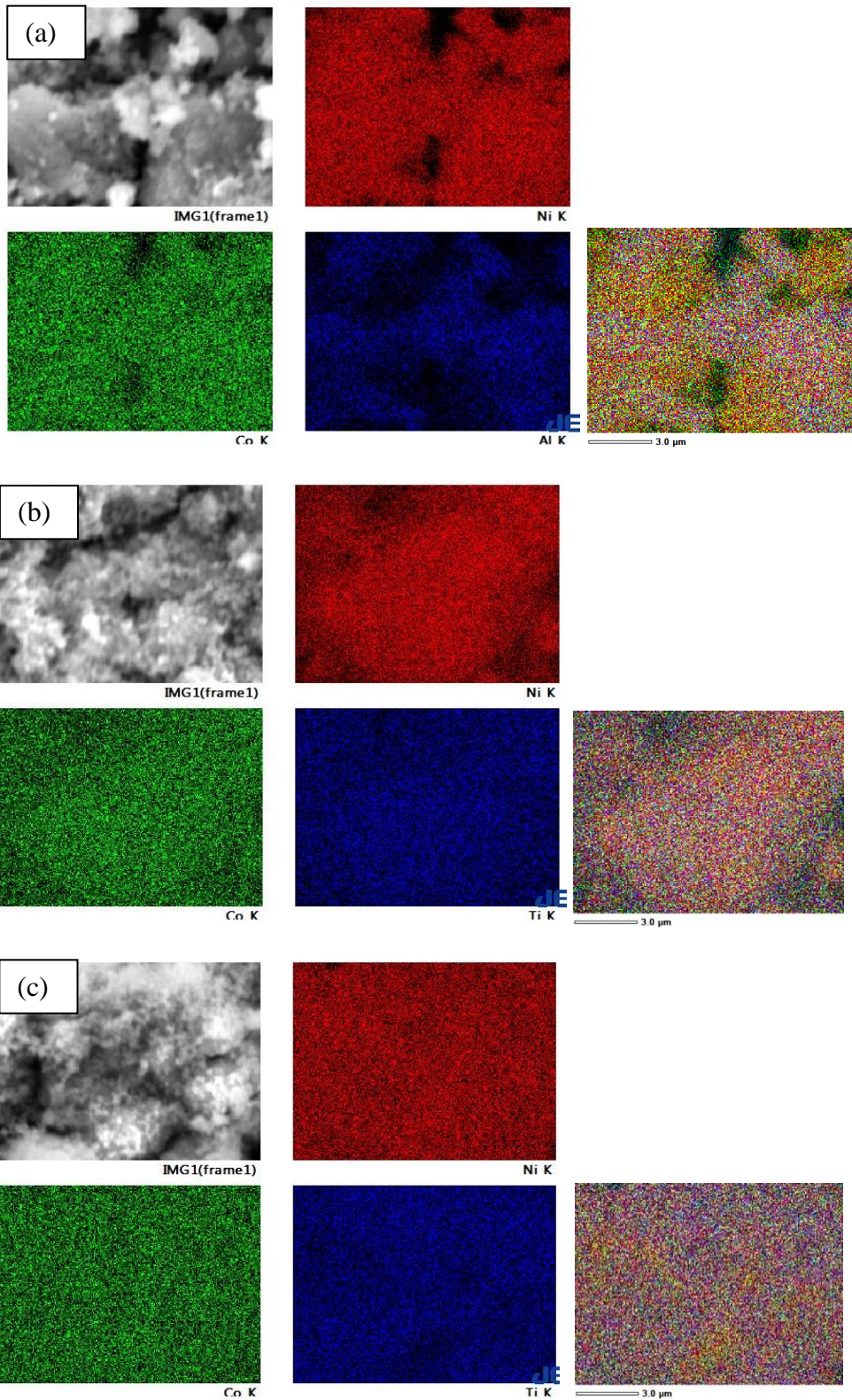
Gambar 4.3 Hasil Pengujian SEM Sampel NMC dengan perbesaran 30.000X dan 50.000X
(a) NMC murni; (b) *coating* 1%; (c) *coating* 3%; (d) *coating* 5%.

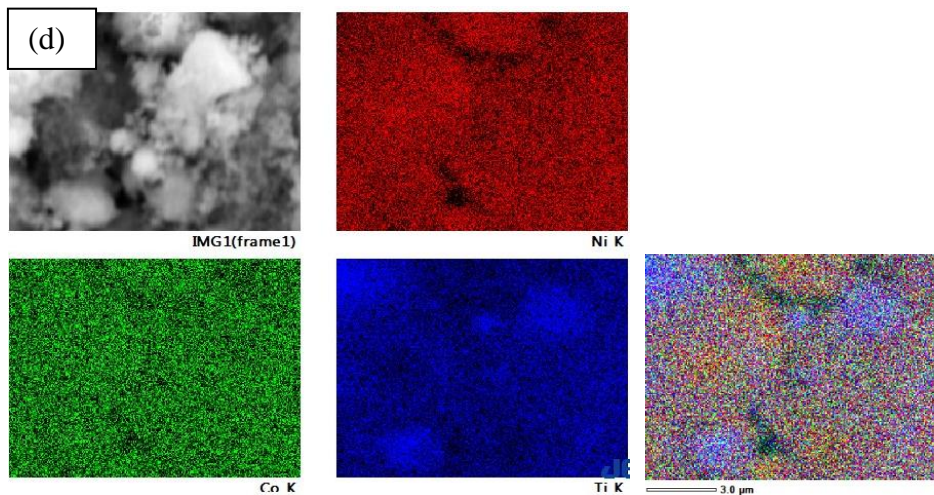
Hasil SEM pada material variasi NMC murni dengan perbesaran 30.000 pada **Gambar 4.3** (a) terlihat warna abu-abu merupakan dari NMC itu sendiri, pada variasi ini belum muncul di permukaan terkait lapisan putih. Pada **Gambar 4.3** (b, c, dan d) merupakan NMC yang sudah di-*coating* TiO₂ berturut-turut masing-masing adalah 1, 3, dan 5%. Dapat ditunjukkan bahwa penambahan *coating* tentu merubah bentuk morfologi dari NMC yang semula masih berwarna polos abu-abu tanpa ada tambahan lapisan berwarna putih. Seiring dengan bertambahnya variasi, maka tampilan NMC yang semula abu-abu gelap menjadi semakin tertutup atau terlapisi dengan TiO₂. Dapat dilihat pada variasi terbanyak yaitu 5%, bahwa seluruhnya tampak tertutup oleh *coating* di permukaan NMC dan menjadi tampak berwarna putih.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Diameter NMC berdasarkan hasil SEM

Variasi (%)	Range ukuran diameter perbesaran 30.000X (µm)	Rata-rata diameter (µm)
0	0.0122-0.0251	0.020
1	0.0143-0.0347	0.021
3	0.0138-0.0635	0.026
5	0.0167-0.0586	0.034

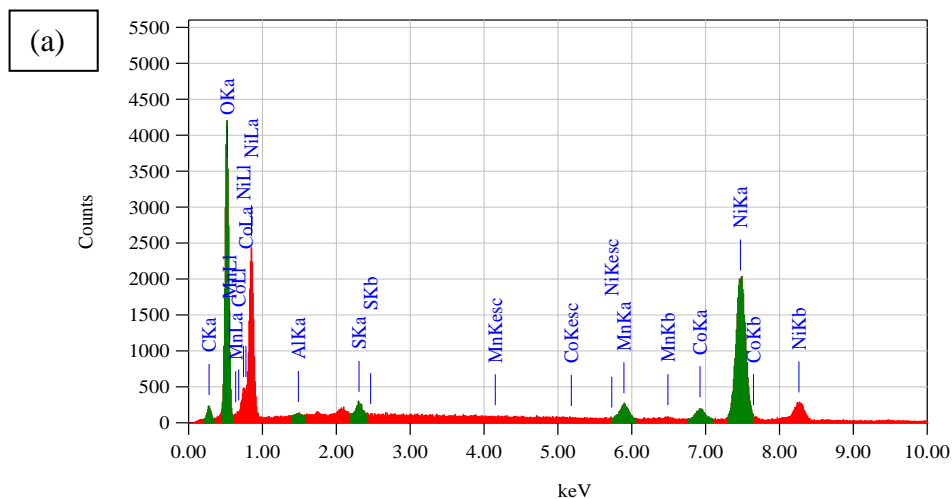
Pada **Tabel 4.3** menunjukkan hasil pengujian SEM dari sampel katoda NMC, bahwa seiring dengan penambahan *coating* TiO₂ maka akan mempengaruhi morfologi yang terbentuk, sehingga semakin besar diameternya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *software* bernama *ImageJ*, gambar yang akan dihitung tersebut diambil dari hasil pengujian SEM, dengan cara pengukuran skala kemudian ditarik garis untuk mendapatkan nilai dari panjang dan juga diameternya. Dapat dilihat diameter dari partikel semakin meningkat. Menurut Zhang pada tahun 2021, semakin kecil ukuran partikel dari katoda dapat menjadi metode untuk mengurangi jarak difusi ion Li dalam partikel. Mengurangi ukuran partikel berkontribusi untuk meningkatkan kinerja elektrokimia (Garcia et al., 2017). Semakin membesarnya partikel maka lebih rentan retak, karena lebih panjangnya difusi dan menurunkan kinerja baterai (Weiss et al., 2021). Didapatkan hasil 1% adalah nilai paling kecil di antara yang lain.

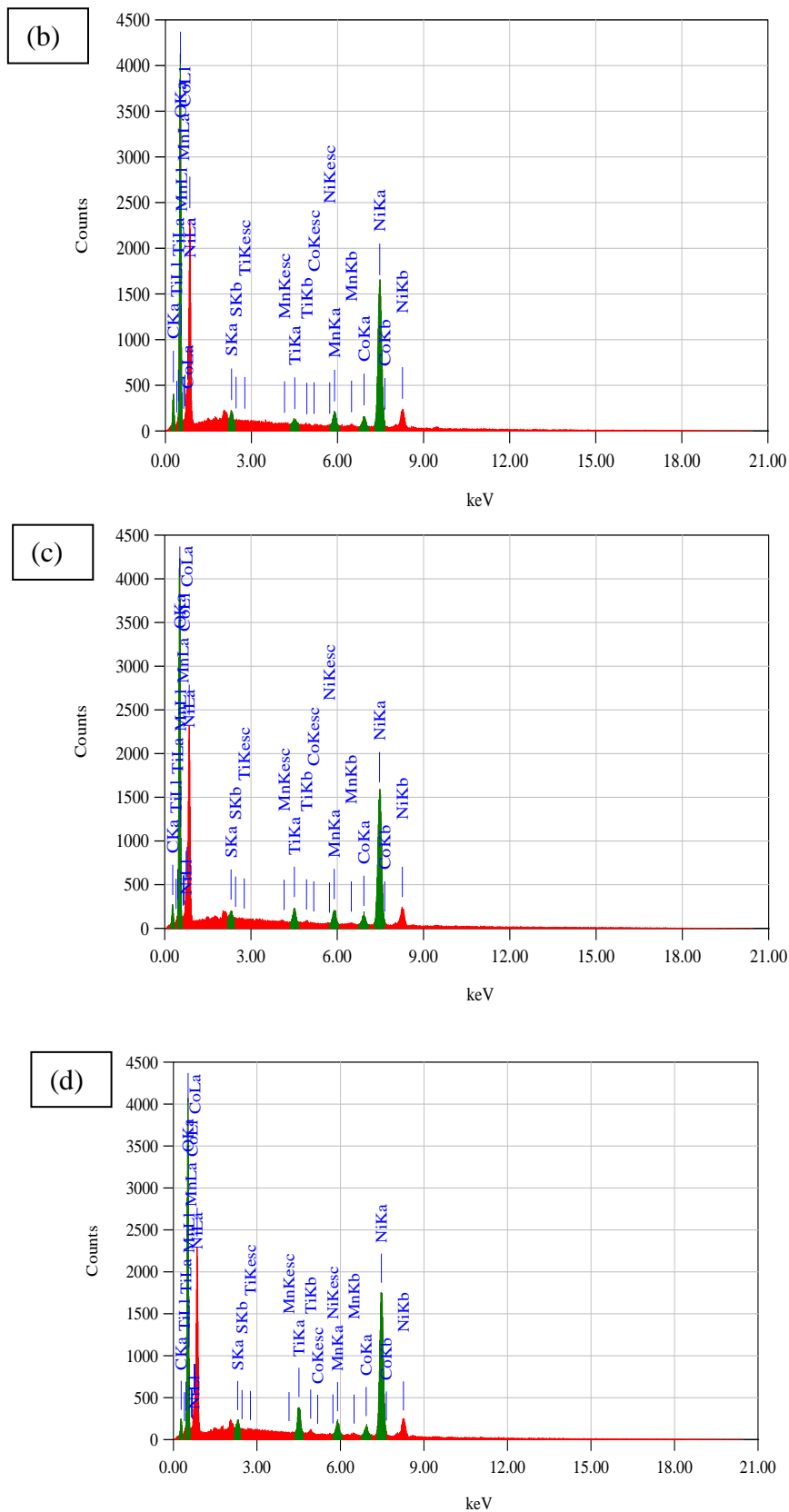




Gambar 4.4 Hasil Pengujian EDX *Elemental Mapping* unsur Ni, Mn, Co, dan Ti pada Sampel NMC; (a) NMC murni; (b) *coating* 1%; (c) *coating* 3%; (d) *coating* 5%.

Elemental mapping juga dilakukan per unsur Ni, Mn, Co, dan Ti agar terlihat lebih jelas persebaran *coating* TiO₂ pada material NMC. Pada **Gambar 4.4** (a) terlihat NMC yang tidak terlapsi tanpa ada penambahan *coating* TiO₂. Namun setelah dilakukan pengujian, Al ikut terdeteksi. Pada **Gambar 4.4** (b, c, dan d) terjadi penambahan dan persebaran unsur Ti dikarenakan kandungan dari material *coating* yang digunakan. Hal ini membuktikan bahwa hasil dari *dry coating* telah berhasil melapsi material NMC.





Gambar 4.5 Spektrum Pengujian EDX variasi (a) NMC murni; (b) *coating* 1%; (c) *coating* 3%, dan (d) *coating* 5%.

. **Gambar 4.5** di atas menunjukkan hasil spektrum dari pengujian EDX pada variasi NMC murni, 1, 3, dan 5% TiO₂.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX

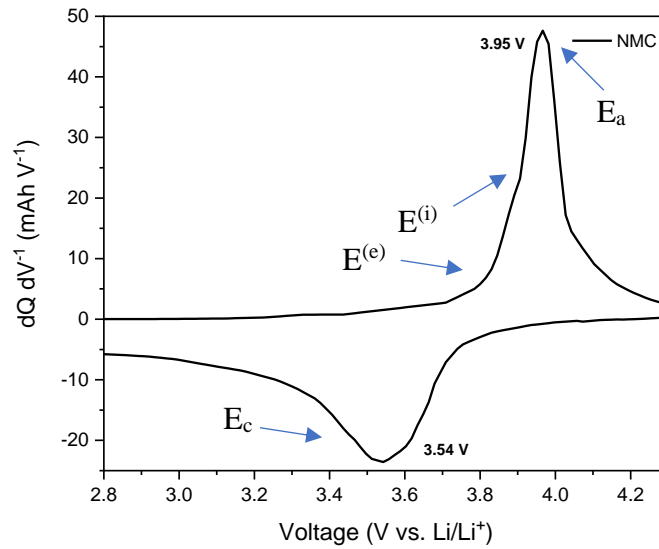
Unsur	1% TiO ₂ (%)	3% TiO ₂ (%)	5% TiO ₂ (%)
NiO	65.08	69.02	70.51
MnO	3.28	3.61	3.41
CoO	3.77	4.05	3.87
TiO ₂	1.01	3.11	5.77
C	25.14	18.52	14.59
SO ₃	1.72	1.69	1.84

Pada **Tabel 4.4** ditampilkan persentase penyebaran material *coating* yang menempel pada NMC, dapat dilihat bahwa Ni tetap memiliki persentase yang terbesar, dan *coating* yang ditambahkan sudah berhasil muncul kandungannya pada data tersebut. Akan tetapi terdapat senyawa yang tidak diharapkan, yaitu C dan juga S, di mana masing-masing dengan persentase terbesarnya diperoleh 25.14% dan 1.84%. Hal ini bisa terjadi dikarenakan pada proses kalsinasi, alat yang digunakan yaitu *tube furnace* sangat sering digunakan secara bergantian dengan peneliti lainnya yang menggunakan kadar karbon dalam penggunaannya, sehingga pengotor dari luar bisa sampai tercampur ke sampel NMC.

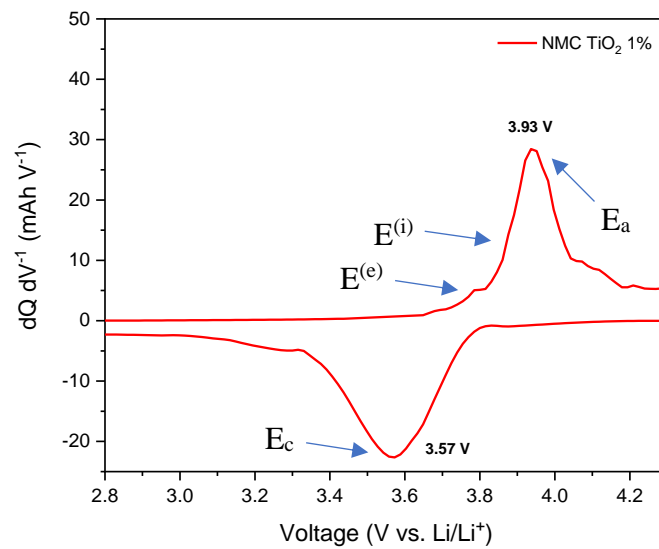
4.3 Hasil Uji Performa Elektrokimia

4.3.1 Hasil Pengujian dan Analisis *Cyclic Voltammetry* (CV)

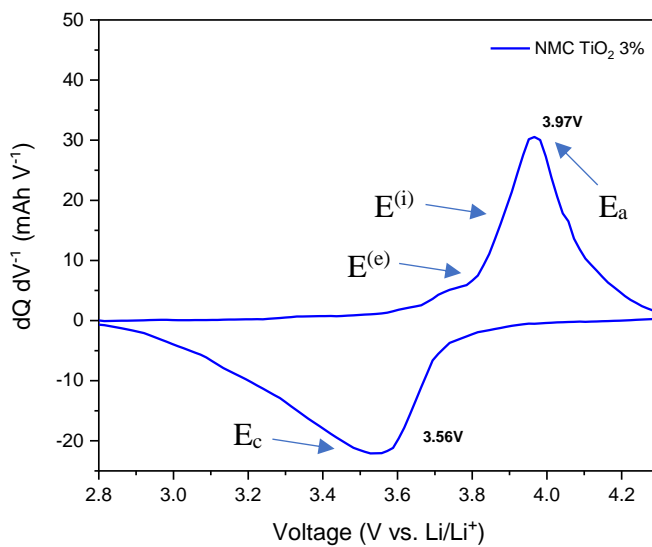
Alat yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah NEWARE BTS 4000 5V *series*. Pengujian CV ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana proses terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi pada sel baterai. Pada grafik menunjukkan X-axis sebagai representasi dari *Voltage* (V) dan Y-axis sebagai representasi (dQ/dV). Spesimen yang digunakan adalah NMC murni, kemudian 1, 3, dan 5 wt.% *coating* TiO₂. Rentang voltase yang digunakan adalah 2.8-4.3 V. Proses terjadinya *charging* adalah terjadinya proses deinterkalasi dari ion Li⁺ bergerak dari katoda menuju anoda (puncak oksidasi), adapun sebaliknya untuk *discharging* yaitu terjadi proses interkalasi dari ion Li⁺ bergerak dari anoda menuju katoda (puncak reduksi). Berikut pada **Gambar 4.6** hingga **Gambar 4.9** ditampilkan grafik CV dari NMC murni dan semua variasi % *coating* TiO₂. Dapat diketahui bahwa E_a merupakan potensial anodik, E⁽ⁱ⁾ merupakan potensial *inflection-point*, E^(e) merupakan potensial *edge*, dan E_c merupakan potensial katodik



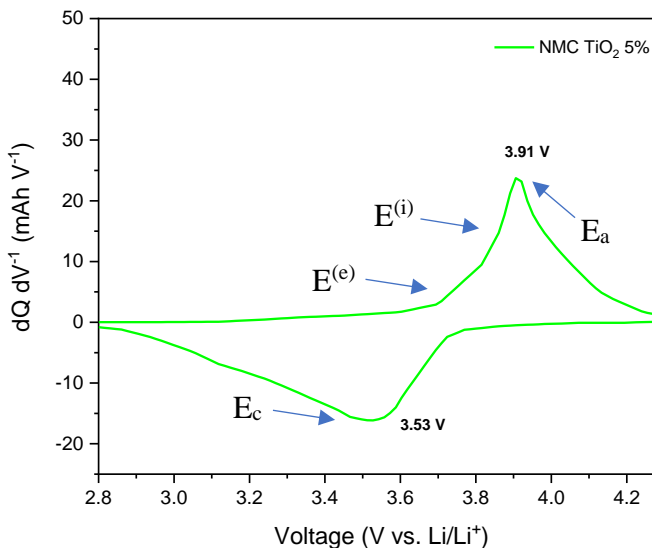
Gambar 4.6 Grafik CV pada NMC murni.



Gambar 4.7 Grafik CV pada NMC *coating* 1%.



Gambar 4.8 Grafik CV pada NMC coating 3%.



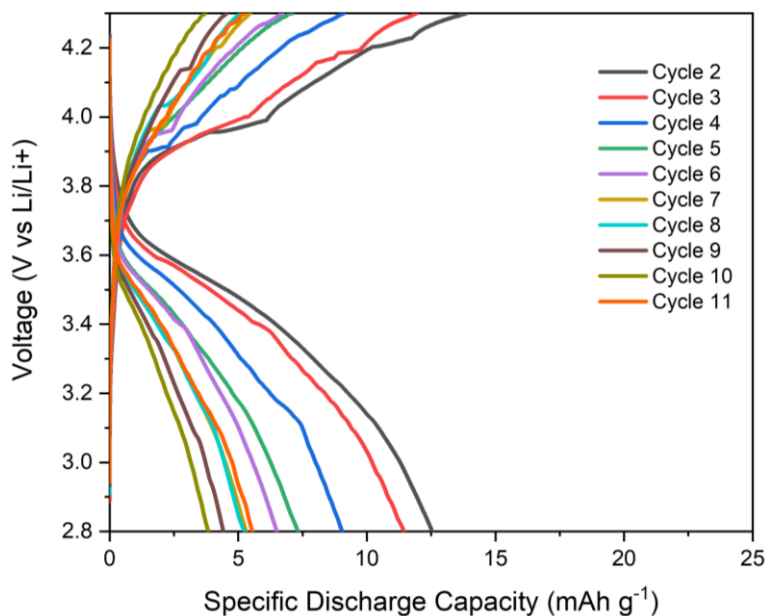
Gambar 4.9 Grafik CV pada NMC coating 5%.

Tabel 4.5 Nilai Intensitas Puncak Arus dan Voltase NMC.

Variasi (%)	Intensitas Puncak				
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)	Δ Voltase (V)
0	3.95	47.75	3.54	-23.83	0.41
1	3.93	28.75	3.57	-22.80	0.36
3	3.97	30.96	3.56	-21.94	0.41
5	3.91	24.03	3.53	-16.19	0.38

Pada pengujian CV yang dilakukan pada beberapa variasi sampel baterai ini didapat puncak oksidasi dan reduksi. Berdasarkan jurnal, performa elektrokimia dari elektroda itu akan bersiklus pada *range* 2.8-4.3 V sedangkan posisi puncak redoks adalah sekitar 3.8V/3.6 V (Yao et al., 2019). Dapat disimpulkan dari **Tabel 4.5** bahwa puncak oksidasi tertinggi didapatkan oleh NMC variasi 3%, dan reduksi terendah diperoleh pada NMC variasi 5%. Jarak dari puncak oksidasi ke puncak reduksi bisa disebut sebagai jarak interkalasi serta deinterkalasi, semakin mengecil jarak pada interkalasi dan deinterkalasi, maka ion litium akan semakin mudah untuk berinterkalasi maupun berdeinterkalasi yang semakin cepat, sehingga transfer elektron akan semakin baik. Pada saat kemampuan transfer elektron semakin cepat, maka konduktivitasnya akan semakin baik (Ilham, dkk., 2014). Konduktivitas terbaik diperoleh pada variasi 1% sebesar 0.36, kemudian 5% sebesar 0.38, 0% dan 3% yang sebesar 0.41.

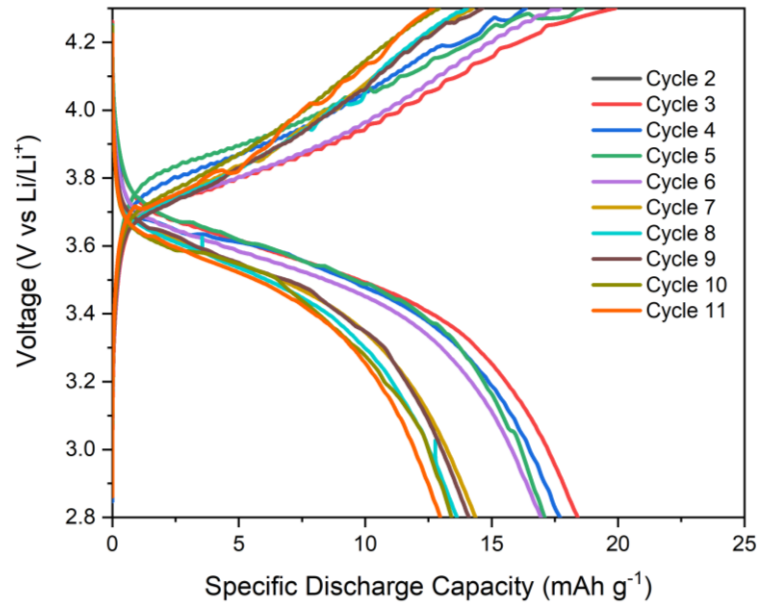
4.3.2 Hasil Pengujian dan Analisis *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD)



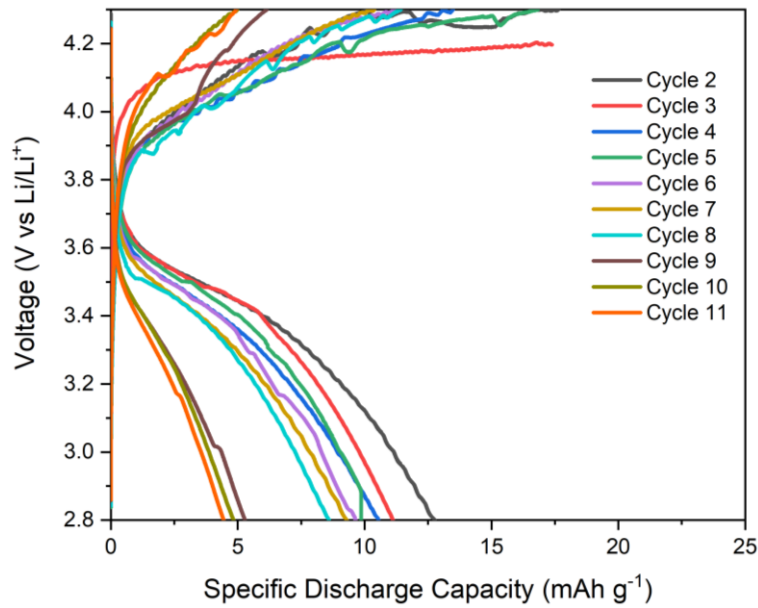
Gambar 4.10 Grafik GCD pada NMC murni.

Uji performa baterai menggunakan instrumen *GCD* dilakukan untuk mengetahui kapasitas dan sifat *cycle* dari komponen sel baterai. Pengujian *GCD* ini dilakukan menggunakan hasil baterai ion litium yang sudah dirangkai di dalam *glove box* yaitu dengan bentuk *coin cell* CR2032 dengan *C-rate* yang sama untuk semua variasi baterai dan dilakukan secara berulang-ulang sampai 10 kali hingga *cycle* ke-11. Sehingga setelah pengujian selesai, akan didapatkan

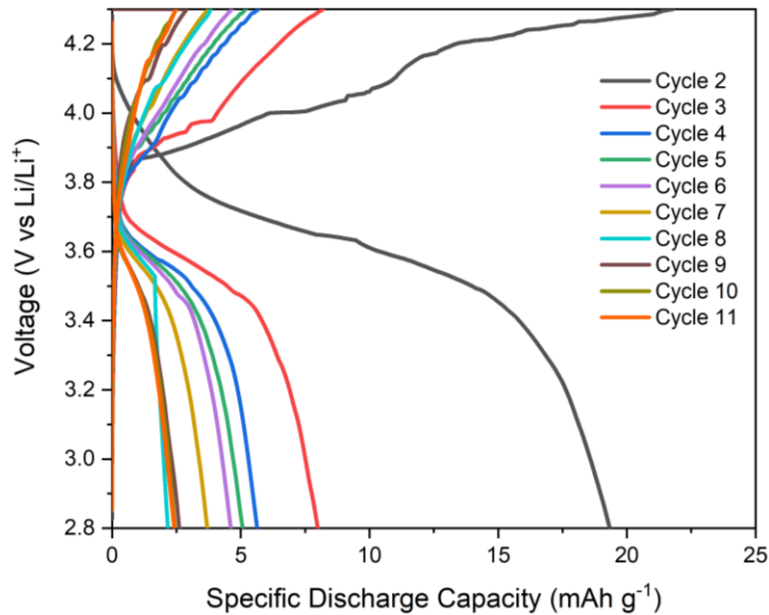
grafik polarisasi pada masing-masing sampel baterai. Grafik ini bertujuan untuk mengetahui perilaku baterai setelah dibebani arus dengan *cycle* yang panjang.



Gambar 4.11 Grafik GCD pada NMC *coating* 1%.



Gambar 4.12 Grafik GCD pada NMC *coating* 3%.



Gambar 4.13 Grafik GCD pada NMC *coating* 5%.

Berdasarkan gambar grafik di atas dari **Gambar 4.10** hingga **Gambar 4.13**, hasil dari pengujian *charge-discharge* dari beberapa *cycle* akhirnya diperoleh data *capacity loss*. Hasil perhitungan kapasitas spesifik untuk mengetahui nilai *capacity loss* bisa dilihat pada **Tabel 4.6** di bawah berikut

Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Kapasitas Spesifik pada masing-masing Sampel.

Variasi (%)	Kapasitas Spesifik (mAh/g) siklus 1 dan 11		<i>Capacity Loss</i> (%)
0	13.872	5.555	60.06%
1	18.399	12.96	29.57%
3	12.769	4.443	65.21%
5	21.797	2.413	88.93%

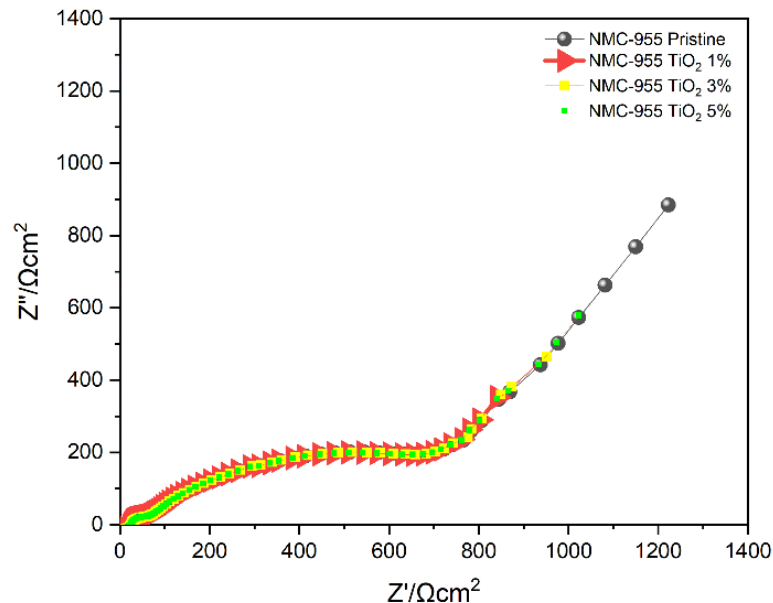
Dari data yang didapat pada **Tabel 4.6**, terlihat bahwa sampel dengan NMC dengan variasi *coating* 1% memiliki kapasitas spesifik sebesar 18.399 mAh/g pada *cycle* 2 dan mengalami penurunan sebesar 12.96 mAh/g pada *cycle* 11. Akan tetapi untuk sampel dengan NMC dengan variasi 3% memiliki nilai kapasitas spesifik sebesar 12.796 mAh/g pada *cycle* 2 dan 4.443 mAh/g pada *cycle* 11. Baterai NMC dengan 5% juga memiliki nilai kapasitas spesifik sebesar 21.797 mAh/g pada *cycle* 2 dan nilai kapasitas spesifik pada *cycle* 11 sebesar 2.413 mAh/g. Nilai kapasitas spesifik dari baterai NMC pada penelitian ini dianggap cukup rendah dikarenakan karena kapasitas spesifik *theoretical* untuk baterai NMC adalah sebesar 274 mAh/g (Usubelli et al., 2020). Sedangkan kapasitas spesifik yang didapat pada penelitian ini tidak dekat dari angka tersebut. Hal ini dapat terjadi akibat banyaknya *failure* yang terjadi pada *cycle*-nya di mana hal ini menunjukkan reaksi yang tidak stabil pada baterai dan diakibatkan oleh faktor lainnya seperti penggunaan *lithium metal* dan larutan elektrolit.

Dapat dilihat dari hasil dari katoda NMC 0% dan 5% *coating* TiO_2 , *capacity loss* yang didapat tinggi. nilai *capacity loss* yang tinggi yang menunjukkan kerugian utama yang akan menyebabkan nilai konduktivitas ion litium juga akan menjadi rendah atau menurun cepat (Kim

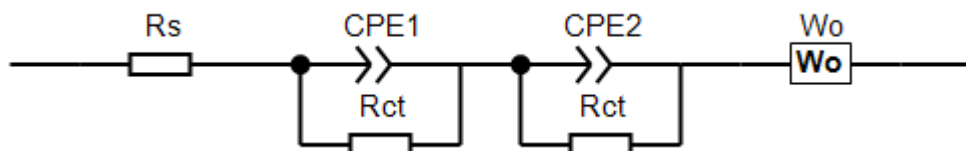
et al., 2019). Maka dapat disimpulkan bahwa dengan variasi terbaik yaitu pada 1% di mana hanya terjadi 29.57% pada nilai *capacity loss*.

4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Selanjutnya pada pengujian performa dengan menggunakan instrumen EIS digunakan dengan tujuan untuk mengetahui nilai impedansi. Plot yang dihasilkan yaitu setengah lingkaran (*semicircle*) dan garis lurus, yang mana hal ini merupakan proses terjadinya difusi ion Li^+ dan proses *charge transfer resistance* (R_{ct}). Berikut merupakan plot kurva dari hasil pengujian EIS dengan pengaruh penambahan *coating* dengan TiO_2 terhadap proses sintesis katoda $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$.

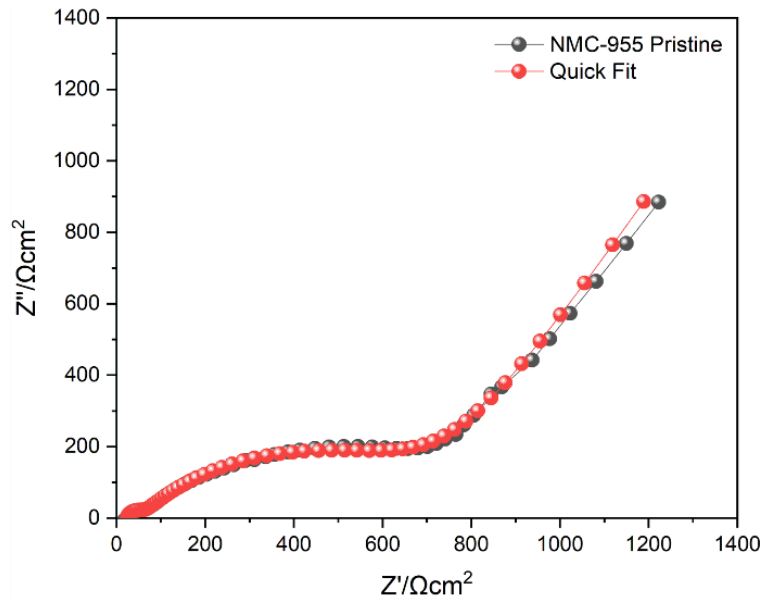


Gambar 4.14 Grafik Hasil Pengujian EIS NMC murni dengan variasi *coating* 1%, 3%, dan 5%.

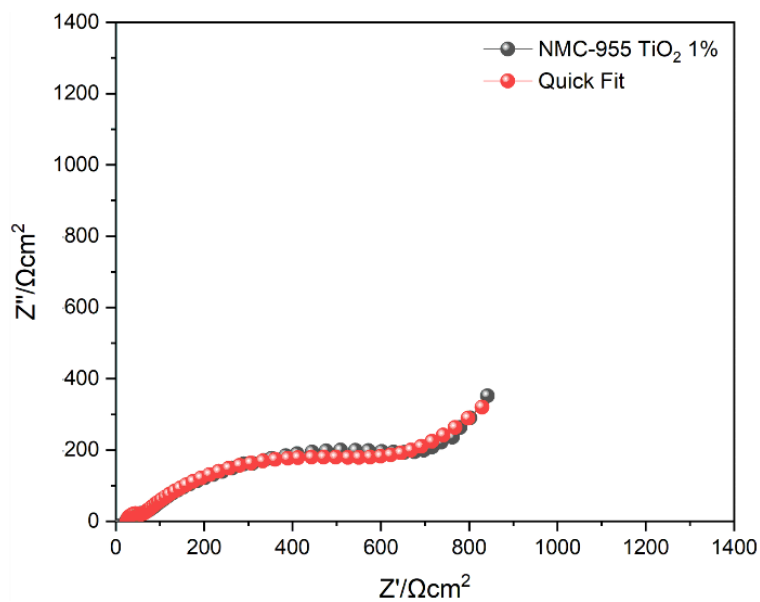


Gambar 4.15 *Quick Fitting* Pengujian.

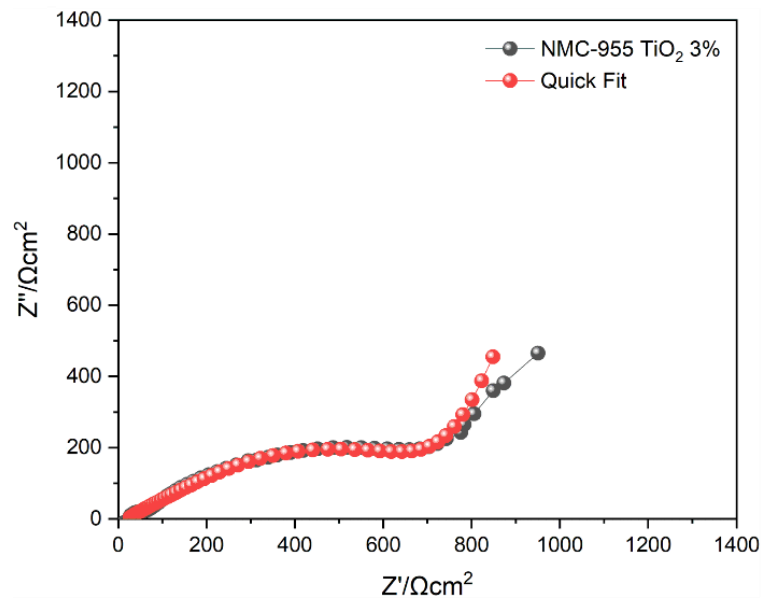
Pada Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa semua kurva EIS membentuk *semicircle*. Data EIS dianalisis menggunakan rangkaian model *quick fitting* yang terdiri dari R_s , R_{ct} , dan CPE, dan dipasang pada model sirkuit elektronik seperti pada Gambar 4.15. Pada R_s merupakan resistansi elektrolit di mana setara dengan frekuensi tinggi pada sumbu Z nyata, CPE merupakan elemen fase konstan. R_{ct} merupakan resistansi transfer muatan (sama dengan diameter setengah lingkaran). C adalah kapasitor atau kapasitansi permukaan, CPE merupakan elemen fase konstan, dan W_o adalah koefisien *warburg* yang menandakan difusi ion. *Semicircle* pada EIS berhubungan dengan besarnya nilai hambatan elektrolit yaitu R_s dan R_{ct} , sedangkan garis lurus menandakan adanya proses interkalasi dan deinterkalasi Li^+ . Pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.19 akan ditampilkan kurva Nyquist dari NMC murni serta variasi *coating* 1%, 3%, dan 5%.



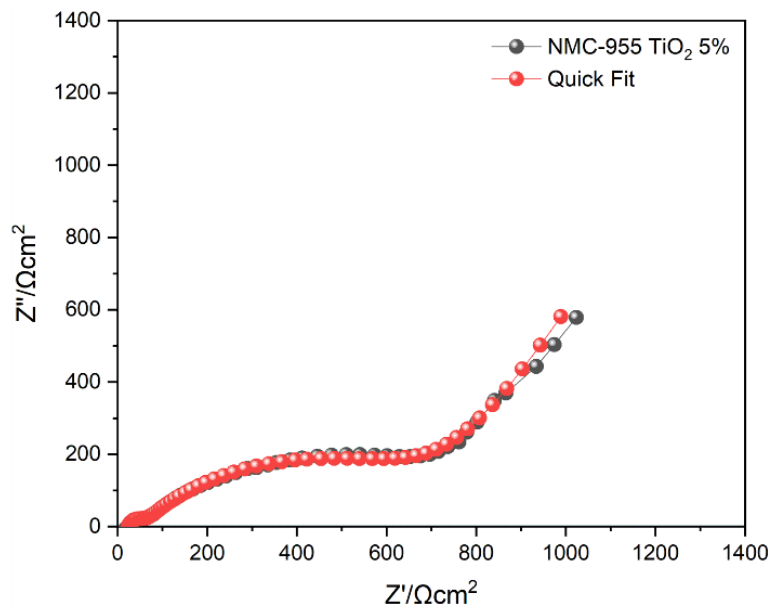
Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC murni.



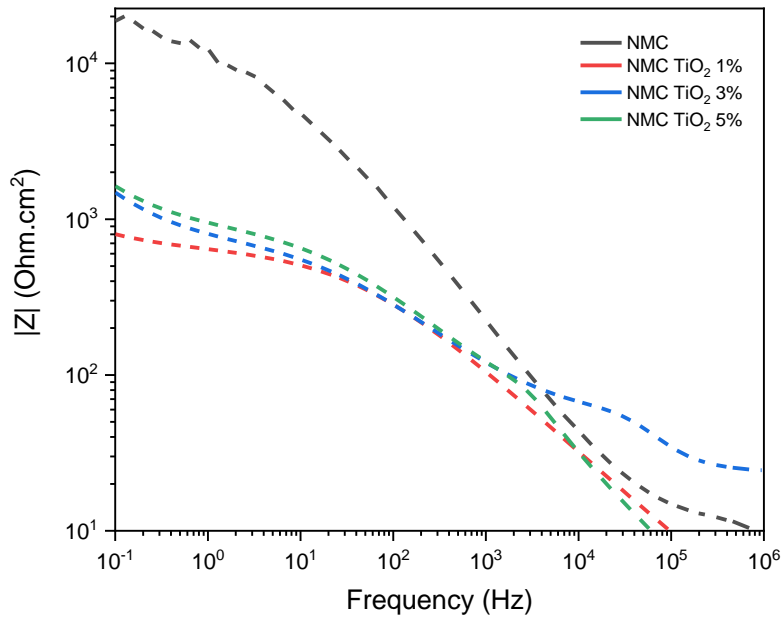
Gambar 4.17 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC *coating* 1%.



Gambar 4.18 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC *coating* 3%.



Gambar 4.19 Grafik Hasil Pengujian EIS dengan Variasi NMC *coating* 5%.



Gambar 4.20 Bode plot hasil pengujian EIS.

Berdasarkan hasil **Gambar 4.20** diperoleh nilai $|Z|$ terkecil yaitu pada variasi 1% dikarenakan semakin turunnya pada nilai $|Z|$ maka semakin menjadi lebih baik di antara yang lain yakni 0, 3, dan 5%. Berdasarkan hasil *plotting* grafik EIS yaitu R_s yang menyatakan besarnya tahanan dari elektrolit yang digunakan. Nilai dari *equivalent circuit* dan konduktivitas dapat dilihat pada **Tabel 4.7** sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Nilai R_s dan R_{ct} pada masing-masing Variasi *Coating*.

Variasi (%)	R_s (Ω)	R_{ct} (Ω)	σ ($\text{ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$)
0	22.76	27.038	3.502×10^{-4}
1	25.37	22.134	3.944×10^{-4}
3	21.856	25.360	2.854×10^{-4}
5	23.116	27.094	3.484×10^{-4}

Hasil pada pengujian EIS terkait pengaruh *coating* TiO_2 terhadap performa elektrokimia katoda NMC yaitu membuat penurunan pada *charge transfer resistance* (R_{ct}) pada variasi 1% *coating*, nilai R_{ct} diharapkan sekecil mungkin agar kinerja baterai menjadi lebih baik, namun pada variasi 3% dan 5% justru semakin meningkat. Berdasarkan grafik EIS dengan bentuk *equivalent circuit* yang terdiri atas *resistance solution* (R_s), *charge transfer resistance* (R_{ct}), *capacitor* (C), CPE-T, CPE-P, nilai R_{ct} terendah yang memiliki *crystallite* terkecil yaitu pada sampel TiO_2 1% dengan nilai 22.134 Ohm. Pada spesimen tanpa *coating* memiliki nilai R_{ct} yang paling besar dengan nilai 27.038 Ohm, kemudian diikuti TiO_2 3% dan 5% dengan nilai 25.36 Ohm serta 27.094 Ohm. Nilai konduktivitas diperoleh hasil yang terbaik dengan nilai tertinggi pada variasi 1% yaitu $3.944 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Ukuran *crystallite* yang dimiliki oleh sampel TiO_2 1% dibandingkan dengan variasi 5% yang berpengaruh pada jarak difusi ion Li^+ sehingga akan mempermudah proses interkalasi dan deinterkalasi (Kwon et al., 2018). Hal ini membuktikan spesimen *coating* mengurangi resistansi dengan optimal pada variasi *coating* 1%.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Penambahan material *coating* TiO₂ pada NMC955 mampu mempengaruhi morfologi yang membuktikan bahwa material *coating* dapat melapisi dengan sempurna pada semua variasi. Pada variasi 5% terjadi peningkatan ukuran *crystallite* dan diameter partikel yang tertinggi dengan nilai yaitu 63.0597 nm dan 0.034 μm.
2. Penambahan material *coating* TiO₂ pada NMC955 mampu meningkatkan performa elektrokimia dengan konduktivitas terbaik pada variasi 1%. Pada sampel tersebut, diperoleh nilai selisih jarak terendah pada voltase oksidasi dengan reduksi yaitu 0.36 V, kapasitas spesifik dengan *capacity loss* terendah yaitu 29.57%, nilai hambatan dengan Rct terendah yaitu 22.134 ohm, dan konduktivitas terbaik yaitu $3.944 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Melakukan proses *coating* pada *slurry* di aluminium yang halus dan rata agar hasilnya lebih baik.
2. Penyimpanan *lithium metal* yang harus lebih efektif lagi agar hasilnya bisa lebih maksimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Baskoro Farid, Widodo Arif, & Kholis Nur. (2021). (31) Analisa Performa Baterai Lithium-air, Lithium-sulfur, All-Solid-State. *Jurnal Teknik Elektro*, 10 No 03, 597–607.
- Biswas, M. M., Azim, M. S., Saha, T. K., Zobayer, U., & Urmi, M. C. (2013). Towards Implementation of Smart Grid: An Updated Review on Electrical Energy Storage Systems. *Smart Grid and Renewable Energy*, 04(01), 122–132. <https://doi.org/10.4236/sgre.2013.41015>
- Di Gianfrancesco, A. (2017). *Technologies for chemical analyses microstructural and inspection investigations. Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants*. Elsevier Ltd.
- Engineering, M. (2020). Introduction and background (1): Interrogativity. *Time*, 1, 1–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816950-6.00001-4>
- Fan, Q., Lin, K., Yang, S., Guan, S., Chen, J., Feng, S., Liu, J., Liu, L., Li, J., & Shi, Z. (2020). Constructing effective TiO₂ nano-coating for high-voltage Ni-rich cathode materials for lithium ion batteries by precise kinetic control. *Journal of Power Sources*, 477(May), 228745. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228745>
- Garcia, J. C., Bareño, J., Yan, J., Chen, G., Hauser, A., Croy, J. R., & Iddir, H. (2017). Surface Structure, Morphology, and Stability of Li(Ni_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3})O₂ Cathode Material. *Journal of Physical Chemistry C*, 121(15), 8290–8299. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b00896>
- Guan, P., Zhou, L., Yu, Z., Sun, Y., Liu, Y., Wu, F., Jiang, Y., & Chu, D. (2020). Recent progress of surface coating on cathode materials for high-performance lithium-ion batteries. *Journal of Energy Chemistry*, 43(xxxx), 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2019.08.022>
- Herzog, M. J., Esken, D., & Janek, J. (2021). Improved Cycling Performance of High-Nickel NMC by Dry Powder Coating with Nanostructured Fumed Al₂O₃, TiO₂, and ZrO₂: A Comparison. *Batteries and Supercaps*, 4(6), 1003–1017. <https://doi.org/10.1002/batt.202100016>
- Julien, C. M., Mauger, A., Zaghbi, K., & Groult, H. (2014). Comparative issues of cathode materials for Li-ion batteries. *Inorganics*, 2(1), 132–154. <https://doi.org/10.3390/inorganics2010132>
- Karnadi, A. (2022). *Produksi Olahan Nikel Indonesia Naik 2, 17% pada 2021*. [Www.Dataindonesia.Id](http://www.dataindonesia.id).
- Kemenperin. (2019). *Cadangan Nikel Melimpah, Indonesia Dinilai Bakal Perkasa di Era Kendaraan Listrik*. [Www.Kemenperin.Go.Id](http://www.kemenperin.go.id). <https://kemenperin.go.id/artikel/21222/Cadangan-Nikel-Melimpah,-Indonesia-Dinilai-Bakal-Perkasa-di-Era-Kendaraan-Listrik>
- Kim, C., Yang, Y., Ha, D., Kim, D. H., & Kim, H. (2019). Crystal alignment of a LiFePO₄ cathode material for lithium ion batteries using its magnetic properties. *RSC Advances*, 9(55), 31936–31942. <https://doi.org/10.1039/c9ra05284d>
- Konsentrasi, P., Alkohol, P., Azmy, I., Teknik, J., Industri, F. T., & Sepuluh, I. T. (2014). *Proses Sol-Gel Sebagai Anoda Untuk Baterai Ion Lithium Tipe Aqueous Elektrolit*. 3(2), 1–6.
- Kwon, Y. H., Minnici, K., Park, J. J., Lee, S. R., Zhang, G., Takeuchi, E. S., Takeuchi, K. J., Marschilok, A. C., & Reichmanis, E. (2018). SWNT Anchored with Carboxylated Polythiophene “links” on High-Capacity Li-Ion Battery Anode Materials. *Journal of the American Chemical Society*, 140(17), 5666–5669. <https://doi.org/10.1021/jacs.8b00693>
- Liao, C., Li, Y., & Tjong, S. C. (2020). Visible-light active titanium dioxide nanomaterials with

- bactericidal properties. *Nanomaterials*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/nano10010124>
- Liu, R., Duay, J., & Lee, S. B. (2011). Heterogeneous nanostructured electrode materials for electrochemical energy storage. *Chemical Communications*, 47(5), 1384–1404. <https://doi.org/10.1039/c0cc03158e>
- Liu, Z., Wang, C., Guo, X., Cheng, S., Gao, Y., Wang, R., Sun, Y., & Yan, P. (2021). Thermal characteristics of ultrahigh power density lithium-ion battery. *Journal of Power Sources*, 506(June), 230205. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230205>
- Lu, Y., Zhang, Y., Zhang, Q., Cheng, F., & Chen, J. (2020). Recent advances in Ni-rich layered oxide particle materials for lithium-ion batteries. *Particuology*, 53, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2020.09.004>
- Madian, M., Eychmüller, A., & Giebeler, L. (2018). Current advances in TiO₂-based nanostructure electrodes for high performance lithium ion batteries. *Batteries*, 4(1). <https://doi.org/10.3390/batteries4010007>
- Manjunatha, H., Suresh, G. S., & Venkatesha, T. V. (2011). Electrode materials for aqueous rechargeable lithium batteries. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 15(3), 431–445. <https://doi.org/10.1007/s10008-010-1117-6>
- Molenda, J. (2011). Li-ion batteries for electric vehicles. *Annales UMCS, Chemistry*, 66(1). <https://doi.org/10.2478/v10063-011-0004-z>
- Muliastri, D., Susanti, D., & Widyastuti. (2018). Influence of composition grafit oxide, irradiation-time variation analyzes on reduced graphene oxide - Copper oxide (rGO/CuO) composite toward photocatalytic conversion of CO₂ to methanol. *AIP Conference Proceedings*, 2014(2017). <https://doi.org/10.1063/1.5054506>
- Mylavarapu, S. K., Ulu Okudur, F., Yari, S., De Sloovere, D., D'Haen, J., Shafique, A., Van Bael, M. K., Safari, M., & Hardy, A. (2021). Effect of TiO_x Surface Modification on the Electrochemical Performances of Ni-Rich (NMC-622) Cathode Material for Lithium-Ion Batteries. *ACS Applied Energy Materials*, 4(10), 10493–10504. <https://doi.org/10.1021/acsaem.1c01309>
- Nasution, M. (2021). Karakteristik Baterai sebagai Penyimpan Energi Listrik secara Spesifik. *Journal of Electrical Technology*, 6(1), 35–40.
- Noerochim, L. (2012). Advanced materials for flexible lithium rechargeable batteries. *University of Wollongong Research Online University*.
- Peng, C., Lang, J., Xu, S., & Wang, X. (2014). Oxygen-enriched activated carbons from pomelo peel in high energy density supercapacitors. *RSC Advances*, 4(97), 54662–54667. <https://doi.org/10.1039/c4ra09395j>
- Perdana, F. A. (2021). Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 113. <https://doi.org/10.20961/inkuri.v9i2.50082>
- Pimenta, V., Sathiya, M., Batuk, D., Abakumov, A. M., Giaume, D., Cassaignon, S., Larcher, D., & Tarascon, J. M. (2017). Synthesis of Li-Rich NMC: A Comprehensive Study. *Chemistry of Materials*, 29(23), 9923–9936. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b03230>
- Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, H. I., & Hidayat, S. (2016). PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO₄. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 06(02), 43–48.
- Sebagian, M., Mencapai, P., & Magister, G. (2020). *Untuk Baterai Ion Litium*. 2(Nmc 622).
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- Shi, H., Magaye, R., Castranova, V., & Zhao, J. (2013). Titanium dioxide nanoparticles: A

- review of current toxicological data. *Particle and Fibre Toxicology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/1743-8977-10-15>
- Siallagan, A. (2021). UNIVERSITAS SUMATERA UTARA Poliklinik UNIVERSITAS SUMATERA UTARA. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 1(3), 82–91.
- Sulistyo, E. (2021). *Geopolitik Kendaraan Listrik*. www.kompas.com. www.beritasatu.com/opini/7969/geopolitik-kendaraan-listrik
- Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414(6861), 359–367. <https://doi.org/10.1038/35104644>
- Thowil Afif, M., & Ayu Putri Pratiwi, I. (2015). Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2), 95–99. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1>
- Tron, A., Hong, M., Don Park, Y., Kim, J., & Mun, J. (2020). Ni-Rich Layered Cathode Materials by a Mechanochemical Method for High-Energy Lithium-Ion Batteries. *ChemistrySelect*, 5(46), 14596–14601. <https://doi.org/10.1002/slct.202003884>
- Usubelli, C., Besli, M. M., Kuppan, S., Jiang, N., Metzger, M., Dinia, A., Christensen, J., & Gorlin, Y. (2020). Understanding the Overlithiation Properties of LiNi 0.6 Mn 0.2 Co 0.2 O 2 Using Electrochemistry and Depth-Resolved X-ray Absorption Spectroscopy . *Journal of The Electrochemical Society*, 167(8), 080514. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab8a9d>
- Weiss, M., Ruess, R., Kasnatscheew, J., Levartovsky, Y., Levy, N. R., Minnmann, P., Stolz, L., Waldmann, T., Wohlfahrt-Mehrens, M., Aurbach, D., Winter, M., Ein-Eli, Y., & Janek, J. (2021). Fast Charging of Lithium-Ion Batteries: A Review of Materials Aspects. *Advanced Energy Materials*, 11(33). <https://doi.org/10.1002/aenm.202101126>
- Wu, F., Wang, M., Su, Y., Chen, S., & Xu, B. (2009). Effect of TiO₂-coating on the electrochemical performances of LiCo_{1/3}Ni_{1/3}Mn_{1/3}O₂. *Journal of Power Sources*, 191(2), 628–632. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.02.063>
- 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, X., Xu, Z., Yao, Z., Cheng, W., Gao, H., Zhao, Q., Li, J., & Zhou, A. (2019). Oxalate co-precipitation synthesis of LiNi 0.6 Co 0.2 Mn 0.2 O 2 for low-cost and high-energy lithium-ion batteries. *Materials Today Communications*, 19, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.02.001>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1: Perhitungan Massa Bahan Baku Prekursor

Perhitungan Massa Bahan Baku Prekursor

- Katoda NMC 955

Senyawa	n (mol)	Molar Mass (Mr)	Massa (gr)
NiSO ₄ .6H ₂ O	0.5	262.846	131.423
MnSO ₄ .H ₂ O	0.5	169.016	84.508
CoSO ₄ .H ₂ O	0.5	281.102	140.527

$$\begin{aligned} \text{Massa Ni}_{0,9} &= 0,9 \times 131,423 \\ &= 236,565 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Mn}_{0,05} &= 0,05 \times 84,508 \\ &= 4,2254 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Co}_{0,05} &= 0,05 \times 140,527 \\ &= 7,02635 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Total} &= \text{massa Ni}_{0,9} + \text{massa Mn}_{0,05} + \text{massa Co}_{0,05} \\ &= 236,565 \text{ gr} + 4,2254 \text{ gr} + 7,02635 \text{ gr} \\ &= 129, 5325\text{gr} \end{aligned}$$

Pelarut Logam Transisi (2M):

$$M = \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{V(\text{ml})}$$

$$2 = \frac{129,5325}{712,964} \times \frac{1000}{V(\text{ml})}$$

$$V = 90,847 \text{ ml}$$

Sehingga, tambahkan aquades hingga 90,847 ml

Larutan NaOH

Perbandingan mol antara NaOH : logam transisi adalah 2:1

$$n = \frac{m \text{ NaOH}}{\text{Mr NaOH}}$$

$$2 = \frac{m \text{ NaOH}}{40}$$

$$m = 80 \text{ gr}$$

$$M = \frac{\text{gr NaOH}}{\text{Mr NaOH}} \times \frac{1000}{V(\text{ml})}$$

$$2 = \frac{40}{40} \times \frac{1000}{V(\text{ml})}$$

$$V = 1000 \text{ ml}$$

Sehingga, timbang NaOH sebanyak 40 gr dan tambahkan aquades hingga 500 ml

Larutan NH₄OH

Perbandingan mol antara NH₄OH : logam transisi adalah 1,2 : 1

$$n = \frac{m \text{ NH}_3.\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr NH}_3.\text{H}_2\text{O}}$$

$$0,6 = \frac{m \text{ NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}{17,03}$$

$$m = 10,218 \text{ gr}$$

$$M = \frac{m \text{ NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{Mr NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{V \text{ (ml)}}$$

$$2 = \frac{10,218}{17,03} \times \frac{1000}{V \text{ (ml)}}$$

$$V = 300 \text{ ml}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$13,4 \times V_1 = 2 \times 300 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{600}{13,4} = 44,8, \text{ ml}$$

Sehingga tambahkan 44,8 ml NH₃ 25% dan tambahkan aquades hingga 300 ml

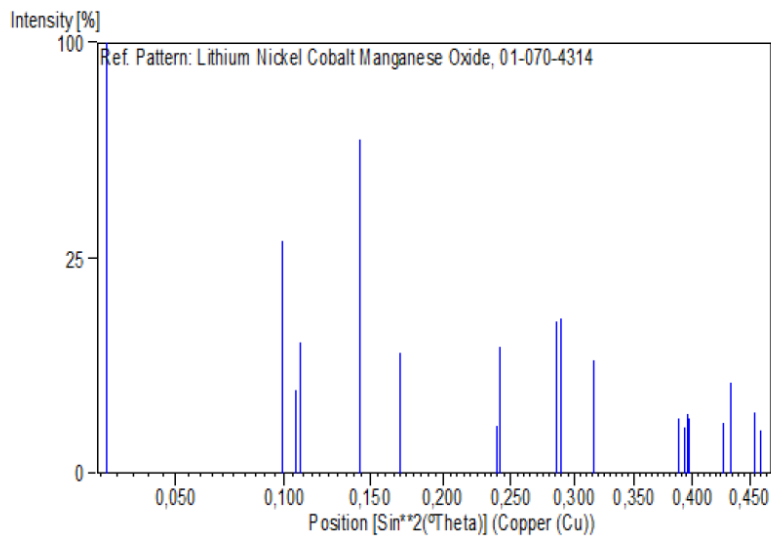
Lampiran 2: XRD Peak NMC

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Arai, H., Tsuda, M., Sakurai, Y., *J. Power Sources*, **90**, 76, (2000)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	3	4,72033	18,784	100,0
2	1	0	1	2,44393	36,744	29,5
3	0	0	6	2,36017	38,098	3,7
4	0	1	2	2,34156	38,412	9,2
5	1	0	4	2,03184	44,558	60,4
6	0	1	5	1,86629	48,755	7,8
7	0	0	9	1,57344	58,624	1,2
8	1	0	7	1,56789	58,852	8,6
9	0	1	8	1,44100	64,628	12,3
10	1	1	0	1,43250	65,059	12,8
11	1	1	3	1,37077	68,381	6,9
12	0	2	1	1,23585	77,114	1,6
13	1	0	10	1,22988	77,558	1,1
14	1	1	6	1,22459	77,957	1,9
15	2	0	2	1,22197	78,156	1,6
16	0	0	12	1,18008	81,499	1,4
17	0	2	4	1,17078	82,286	4,4
18	0	1	11	1,14271	84,768	2,0
19	2	0	5	1,13635	85,355	0,8

Stick Pattern



Peak TiO₂

Name and formula

Reference code: 96-231-0711

Compound name: Ti O₂

Common name: Ti O₂

Chemical formula: Ti_{4.00}O_{8.00}

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal

Space group: I 41/a m d

Space group number: 141

a (Å): 3.8720

b (Å): 3.8720

c (Å): 9.6160

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm³): 3.50

Calculated density (g/cm³): 3.68
Volume of cell (10⁶ pm³): 144.17

RIR: 5.04

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
Quality: None ()

Comments

Creation Date: 2/8/2021 7:47:18 PM
Modification Date: 2/8/2021 7:47:18 PM
Structure TIDY: TRANS Origin 0 0 1/2
Publication title: Structure of nanocrystalline anatase solved and refined from electron powder data
COD database code: 2310710

References

Structure: Weirich, T. E., Winterer, M., Seifried, S., Mayer, J., *Acta Crystallographica Section A*, **58**, 308 - 315, (2002)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	1	3.59175	24.768	100.0
2	1	0	3	2.46908	36.357	8.1
3	0	0	4	2.40400	37.377	23.4
4	1	1	2	2.37920	37.781	7.1
5	2	0	0	1.93600	46.892	31.6

1 Of 2

Date: 7/16/2022 Time: 5:05:17 PM

File: NMC D 0,5mol

User: MSI Modern 14

6	2	0	2	1.79588	50.799	0.0
7	1	0	5	1.72243	53.130	19.1
8	2	1	1	1.70420	53.744	19.5
9	2	1	3	1.52351	60.744	3.9
10	2	0	4	1.50784	61.443	17.5
11	1	1	6	1.38313	67.687	5.6
12	2	2	0	1.36896	68.484	8.1
13	1	0	7	1.29465	73.023	0.6
14	2	1	5	1.28685	73.538	12.0
15	3	0	1	1.27920	74.052	3.3
16	2	0	6	1.23454	77.211	0.0
17	0	0	8	1.20200	79.710	0.8
18	3	0	3	1.19725	80.090	0.9
19	2	2	4	1.18960	80.711	7.1
20	3	1	2	1.18656	80.961	2.3
21	3	1	4	1.09106	89.822	0.0

Perhitungan Ukuran *Crystallite*

Perhitungan Ukuran Kristal

Rumus untuk menghitung ukuran kristal

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta}$$

a. 0%

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0.94 \times 0.15406}{\frac{0.145}{\beta \cos \theta}} = \frac{0.145}{\beta \cos \theta} = \frac{0.145}{0.00797 \times 0.98679} = 50.3224 \text{ \AA}$$

$$\beta = FWHM \times \frac{3.14}{180}$$

$$\beta = 0.1673 \times 0.0174$$

$$\beta = 0.00292$$

$$\theta = 18.6482 - 2$$

$$\theta = 9.324$$

b. 1%

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0.94 \times 0.15406}{\frac{0.145}{\beta \cos \theta}} = \frac{0.145}{\beta \cos \theta} = \frac{0.145}{0.00233 \times 0.98690} = 63.0578 \text{ \AA}$$

$$\beta = FWHM \times \frac{3.14}{180}$$

$$\beta = 0.1338 \times 0.0174$$

$$\beta = 0.00233$$

$$\theta = 18.5717 - 2$$

$$\theta = 9.2859$$

c. 3%

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0.94 \times 0.15406}{\frac{0.145}{\beta \cos \theta}} = \frac{0.145}{\beta \cos \theta} = \frac{0.145}{0.0032 \times 0.98681} = 45.9182 \text{ \AA}$$

$$\beta = FWHM \times \frac{3.14}{180}$$

$$\beta = 0.1840 \times 0.0174$$

$$\beta = 0.00320$$

$$\theta = 18.6332 - 2$$

$$\theta = 9.3166$$

d. 5%

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0.94 \times 0.15406}{\frac{0.145}{\beta \cos \theta}} = \frac{0.145}{\beta \cos \theta} = \frac{0.145}{0.00733 \times 0.98687} = 63.0597 \text{ \AA}$$

$$\beta = FWHM \times \frac{3.14}{180}$$

$$\beta = 0.1338 \times 0.0174$$

$$\beta = 0.00233$$

$$\theta = 18.5921 - 2$$

$$\theta = 9.2961$$

Perhitungan Parameter Kisi

Perhitungan Parameter Kisi

a) 0% TiO₂

h	k	l	d
0	0	3	4.75833
1	0	4	2.04415

Rumus perhitungan :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Persamaan 1 menentukan nilai c :

$$\frac{1}{(4.75833)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{3^2}{c^2}$$

$$c^2 = 203.775339502071$$

$$c = 14.275$$

Persamaan 2 menentukan nilai a :

$$\frac{1}{(2.04415)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{4^2}{(14.275)^2}$$

$$a^2 = 8.291885376046$$

$$a = 2.88$$

b) 1% TiO₂

h	k	l	d
0	0	3	4.77774
1	0	4	2.04766

Rumus perhitungan :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Persamaan 1 menentukan nilai c :

$$\frac{1}{(4.77774)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{3^2}{c^2}$$

$$c^2 = 205.441195569278$$

$$c = 14.333$$

Persamaan 2 menentukan nilai a :

$$\frac{1}{(2.04766)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{4^2}{(14.333)^2}$$

$$a^2 = 8.317286533$$

$$a = 2.881$$

c) 3% TiO₂

h	k	l	d
0	0	3	4.76211
1	0	4	2.04654

Rumus perhitungan :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Persamaan 1 menentukan nilai c :

$$\frac{1}{(4.76211)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{3^2}{c^2}$$

$$c^2 = 204.099224867732$$

$$c = 14.286$$

Persamaan 2 menentukan nilai a :

$$\frac{1}{(2.04654)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{4^2}{(14.286)^2}$$

$$a^2 = 8.314521126739$$

$$a = 2.883$$

d) 5% TiO₂

h	k	l	d
0	0	3	4.77253
1	0	4	2.05011

Rumus perhitungan :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Persamaan 1 menentukan nilai c :

$$\frac{1}{(4.77253)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{3^2}{c^2}$$

$$c^2 = 204.993383407153$$

$$c = 14.318$$

Persamaan 2 menentukan nilai a :

$$\frac{1}{(2.05011)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{4^2}{(14.318)^2}$$

$$a^2 = 8.339523609387$$

$$a = 2.888$$

e) JCPDS

h	k	l	d
0	0	3	4.72033
1	0	4	2.03184

Rumus perhitungan :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Persamaan 1 menentukan nilai c :

$$\frac{1}{(4.75823)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{3^2}{c^2}$$

$$c^2 = 200.533637781874$$

$$c = 14.161$$

Persamaan 2 menentukan nilai a :

$$\frac{1}{(2.03184)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1^2 + 0 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{4^2}{(14.161)^2}$$

$$a^2 = 8.208202947622$$

$$a = 2.86$$

0% TiO₂ / NMC Pure

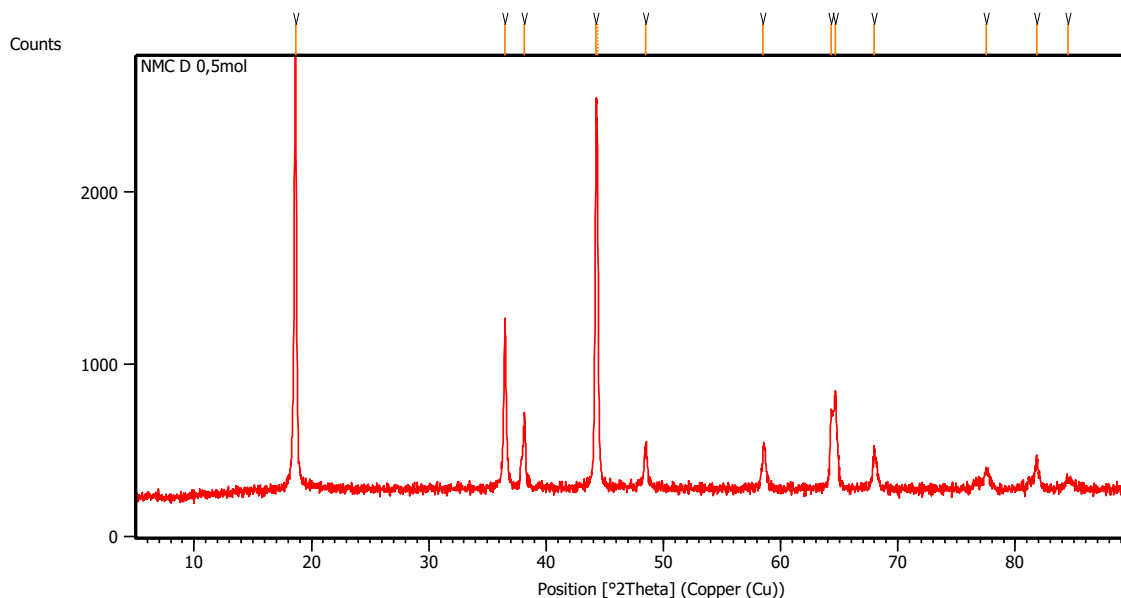
This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

5.3 Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	NMC D 0,5mol
File name	E:\DATA PENGUJIAN-XRD\Pengujian 2022\Mei\P.Lukman\NMC D 0,5mol\NMC D 0,5mol.rd
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	5/27/2022 10:15:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	5.0084
End Position [°2Th.]	89.9744
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
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
Diffraction Type	XPert MPD
Diffraction Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00

Incident Beam Monochromator No
Spinning Yes

5.4 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



5.5 Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
18.6482	2505.87	0.1673	4.75833	100.00
36.4881	943.06	0.1004	2.46254	37.63
38.1594	436.11	0.0669	2.35845	17.40
44.2750	2251.53	0.1428	2.04415	89.85
44.3748	1815.49	0.0816	2.04485	72.45
48.4752	242.24	0.2448	1.87639	9.67
58.5008	242.02	0.1224	1.57645	9.66
64.2835	409.67	0.2040	1.44789	16.35
64.6799	535.11	0.1632	1.43997	21.35
67.9583	206.47	0.1632	1.37826	8.24
77.4963	112.12	0.3264	1.23071	4.47
81.8321	158.56	0.1632	1.17611	6.33
84.4689	50.40	0.4080	1.14600	2.01

5.6 Pattern List: (Bookmark 4)

5.7 Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = NMC D 0,5mol.rd
- Modification time = "5/27/2022 11:17:41 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "5/27/2022 11:17:41 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/11/2021 12:29:27 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

1% TiO₂

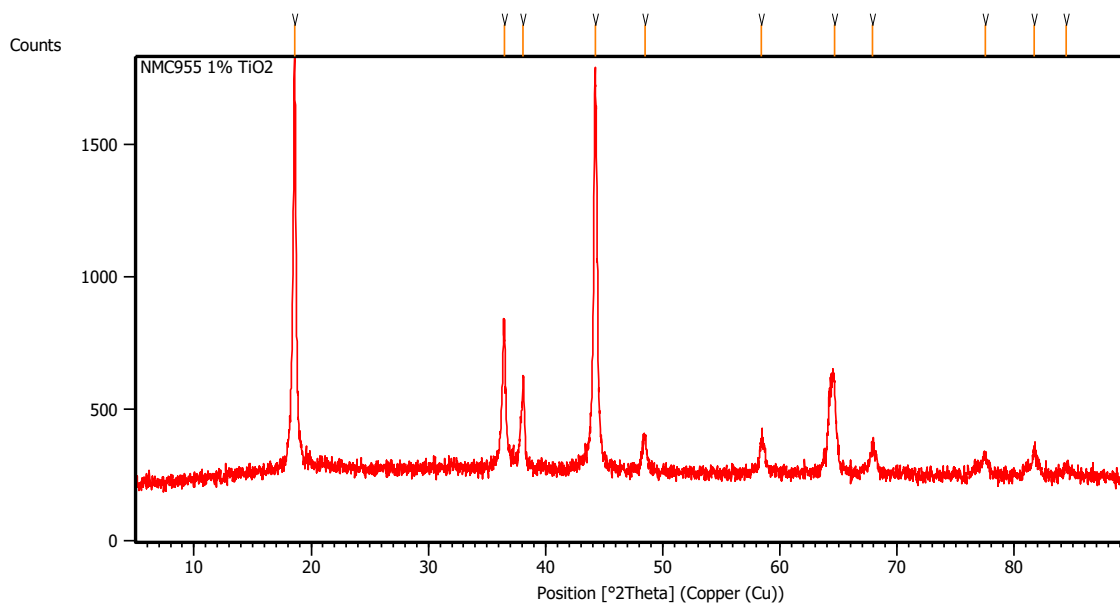
This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks.
The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.
Modify it according to your own needs and standards.

5.8 Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	NMC955 1% TiO ₂		
File name	E:\DATA	PENGUJIAN-XRD\Pengujian	2022\Juni\Pak
	Lukman\NMC955 1% TiO ₂ \NMC955 1% TiO ₂ .rd		
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini		
Measurement Date / Time	6/7/2022 8:38:00 AM		
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)		
Scan Axis	Gonio		
Start Position [°2Th.]	5.0084		
End Position [°2Th.]	89.9744		
Step Size [°2Th.]	0.0170		
Scan Step Time [s]	10.1500		
Scan Type	Continuous		
Offset [°2Th.]	0.0000		
Divergence Slit Type	Fixed		
Divergence Slit Size [°]	1.0000		
Specimen Length [mm]	10.00		
Receiving Slit Size [mm]	12.7500		
Measurement Temperature [°C]	-273.15		
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	XPert MPD		
Diffractometer Number	1		
Goniometer Radius [mm]	200.00		

Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00
Incident Beam Monochromator No
Spinning Yes

5.9 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



5.10 Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.5717	1547.36	0.1338	4.77774	100.00
36.5058	487.29	0.1004	2.46139	31.49
38.1036	343.79	0.1673	2.36177	22.22
44.2337	1495.68	0.1338	2.04766	96.66
48.4924	130.48	0.2342	1.87732	8.43
58.4323	128.59	0.3346	1.57945	8.31
64.6347	340.77	0.2676	1.44206	22.02
67.9173	102.66	0.4684	1.38014	6.63
77.5060	72.16	0.5353	1.23160	4.66
81.7213	101.61	0.2007	1.17840	6.57
84.4476	34.16	0.5353	1.14718	2.21

5.11 Pattern List: (Bookmark 4)

5.12 Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = NMC955 1% TiO2.rd
- Modification time = "6/7/2022 3:10:32 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/7/2022 3:10:32 PM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/11/2021 12:29:27 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

3% TiO₂

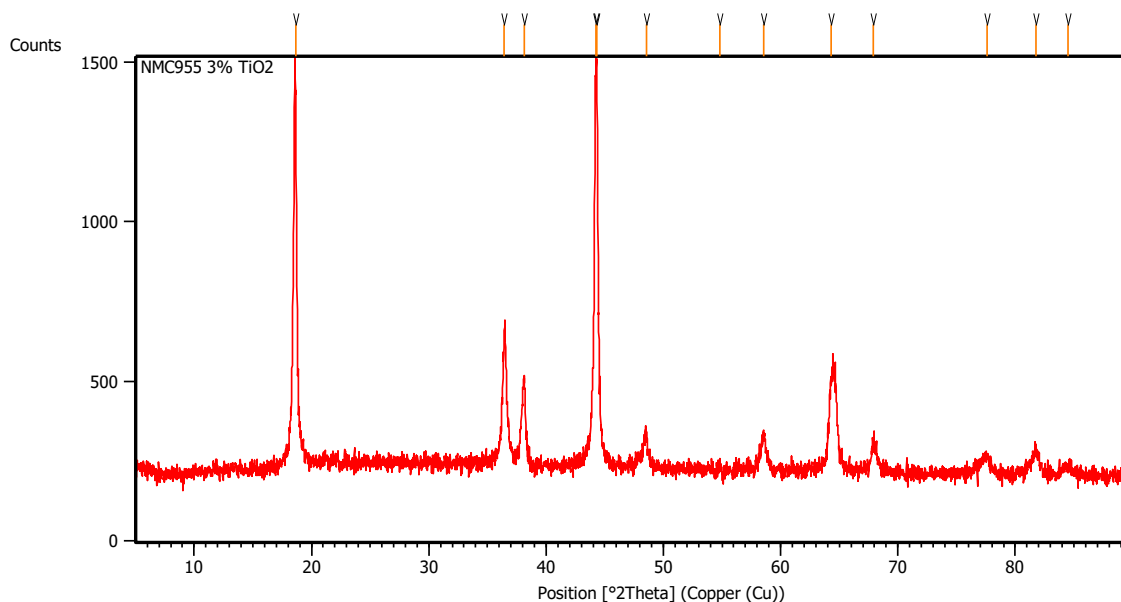
This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

5.13 Measurement Conditions: *(Bookmark 1)*

Dataset Name	NMC955 3% TiO ₂		
File name	E:\DATA	PENGUJIAN-XRD\Pengujian	2022\Juni\Pak
Lukman\NMC955 3% TiO ₂ \NMC955 3% TiO ₂ .rd			
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini		
Measurement Date / Time	6/7/2022 12:47:00 PM		
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)		
Scan Axis	Gonio		
Start Position [°2Th.]	5.0084		
End Position [°2Th.]	89.9744		
Step Size [°2Th.]	0.0170		
Scan Step Time [s]	10.1500		
Scan Type	Continuous		
Offset [°2Th.]	0.0000		
Divergence Slit Type	Fixed		
Divergence Slit Size [°]	1.0000		
Specimen Length [mm]	10.00		
Receiving Slit Size [mm]	12.7500		
Measurement Temperature [°C]	-273.15		
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	XPert MPD		
Diffractometer Number	1		

Goniometer Radius [mm] 200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00
Incident Beam Monochromator No
Spinning Yes

5.14 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



5.15 Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
18.6332	1186.45	0.1840	4.76211	98.81
36.4524	422.36	0.2342	2.46487	35.18
38.1338	272.55	0.2007	2.35997	22.70
44.2206	1200.68	0.1020	2.04654	100.00
44.3526	1106.45	0.1004	2.04245	92.15
48.5295	96.42	0.3011	1.87597	8.03
54.8246	14.63	0.3346	1.67453	1.22
58.5619	107.48	0.2676	1.57626	8.95
64.3044	281.43	0.6691	1.44867	23.44
67.8623	78.89	0.5353	1.38112	6.57
77.5882	49.79	0.4015	1.23050	4.15
81.7301	74.78	0.4684	1.17830	6.23
84.5144	27.45	0.9368	1.14644	2.29

5.16 Pattern List: (Bookmark 4)

5.17 Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = NMC955 3% TiO2.rd
- Modification time = "6/7/2022 3:19:04 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/7/2022 3:19:04 PM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/11/2021 12:29:27 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

5% TiO₂

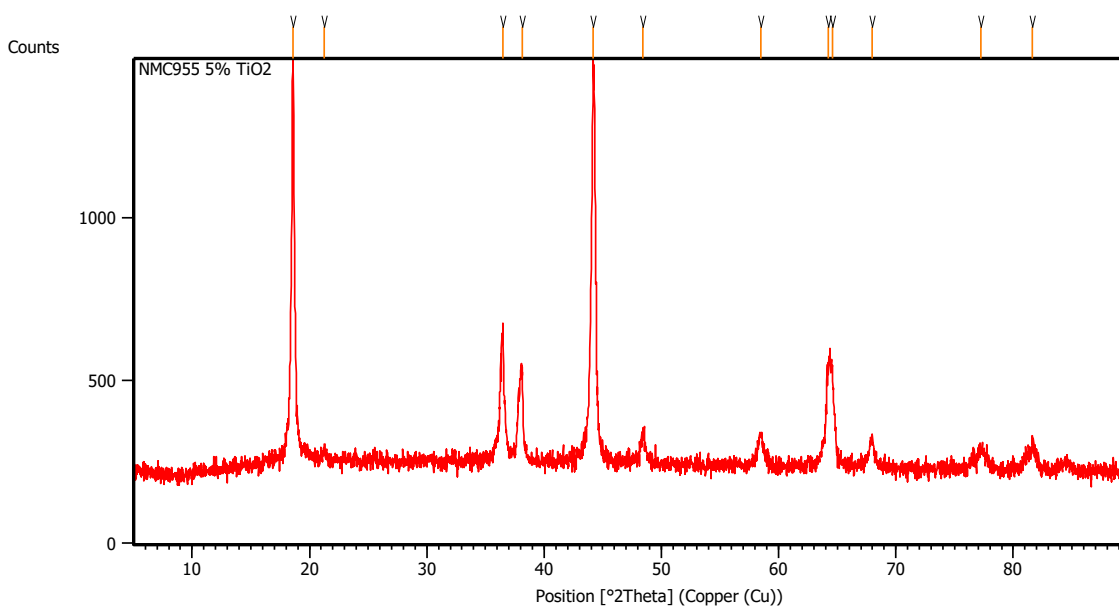
This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

5.18 Measurement Conditions: *(Bookmark 1)*

Dataset Name	NMC955 5% TiO ₂	
File name	E:\DATA	PENGUJIAN-XRD\Pengujian 2022\Juni\Pak
Lukman\NMC955 5% TiO ₂ \NMC955 5% TiO ₂ .rd		
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	6/7/2022 1:00:00 PM	
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)	
Scan Axis	Gonio	
Start Position [°2Th.]	5.0084	
End Position [°2Th.]	89.9744	
Step Size [°2Th.]	0.0170	
Scan Step Time [s]	10.1500	
Scan Type	Continuous	
Offset [°2Th.]	0.0000	
Divergence Slit Type	Fixed	
Divergence Slit Size [°]	1.0000	
Specimen Length [mm]	10.00	
Receiving Slit Size [mm]	12.7500	
Measurement Temperature [°C]	-273.15	
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	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

5.19 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



5.20 Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
18.5921	1206.21	0.1338	4.77253	100.00
21.2751	28.36	0.4015	4.17636	2.35
36.4541	367.31	0.2007	2.46476	30.45
38.1174	280.48	0.2007	2.36095	23.25
44.1780	1134.30	0.1171	2.05011	94.04
48.4128	85.37	0.2676	1.88022	7.08
58.4629	98.22	0.3346	1.57869	8.14
64.2270	297.35	0.3264	1.44903	24.65
64.5620	291.49	0.2676	1.44351	24.17
67.9351	82.47	0.3346	1.37982	6.84
77.2571	59.21	0.5353	1.23494	4.91
81.6523	84.29	0.2676	1.17922	6.99

5.21 Pattern List: (Bookmark 4)

5.22 Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = NMC955 5% TiO₂.rd
- Modification time = "6/7/2022 3:20:15 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

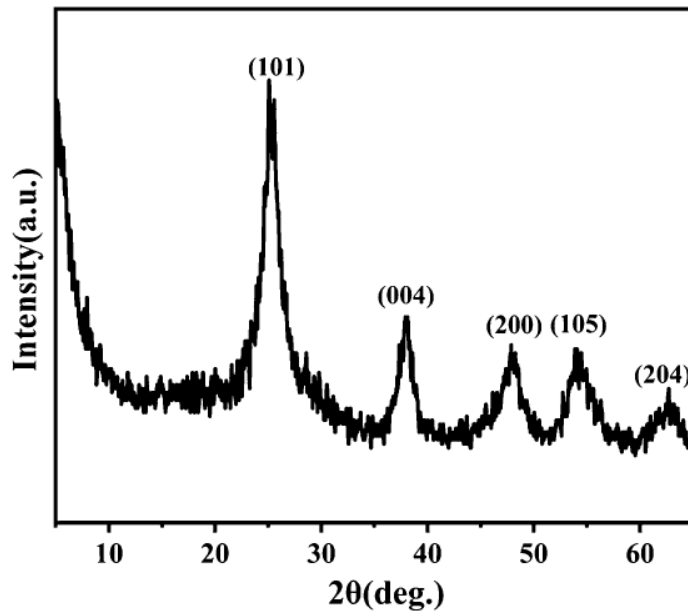
Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/7/2022 3:20:15 PM"
- Modification editor = "PANalytical"

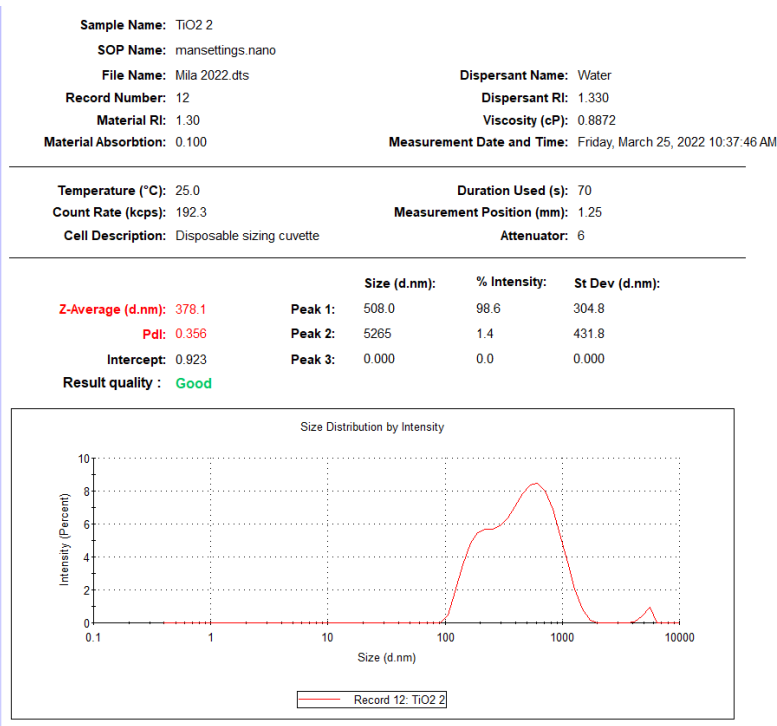
Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/11/2021 12:29:27 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

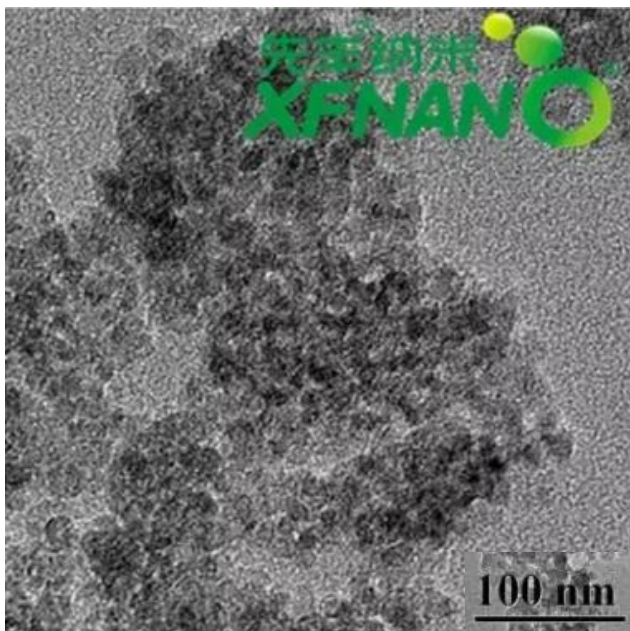
Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD) nanopartikel TiO₂



Hasil Uji *Particle Size Analyzer* (PSA) nanopartikel TiO₂



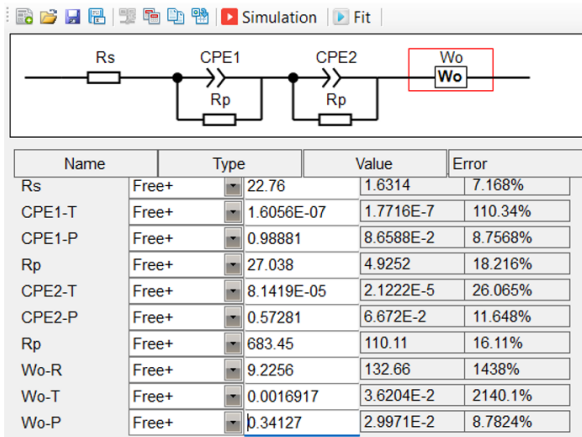
Hasil Uji *Transmission Electron Microscope* (TEM) nanopartikel TiO₂



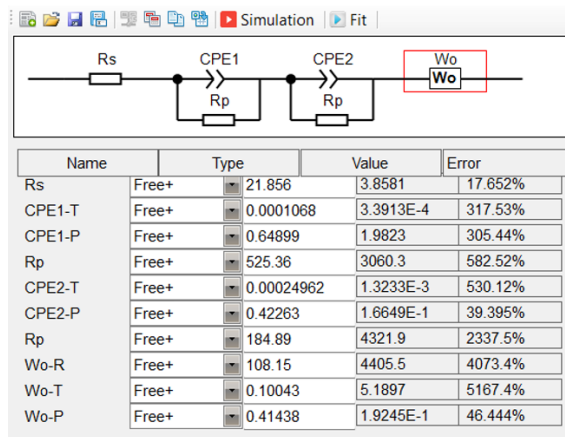
Link Pembelian nanopartikel TiO₂

https://www.alibaba.com/product-detail/High-Purity-99-3-5-10nm_62250900106.html?spm=a2700.wholesale.0.0.2d052024dT54oL

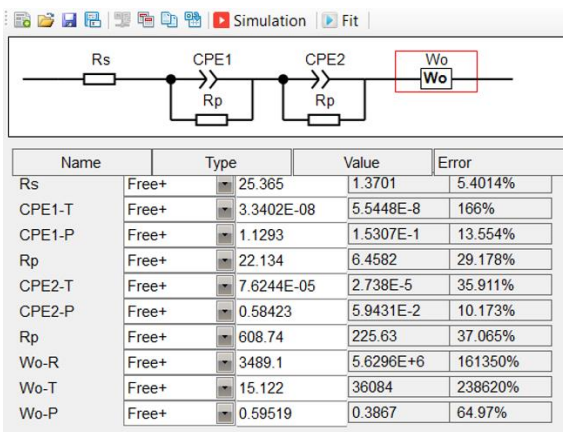
Sirkuit *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) NMC dengan variasi coating



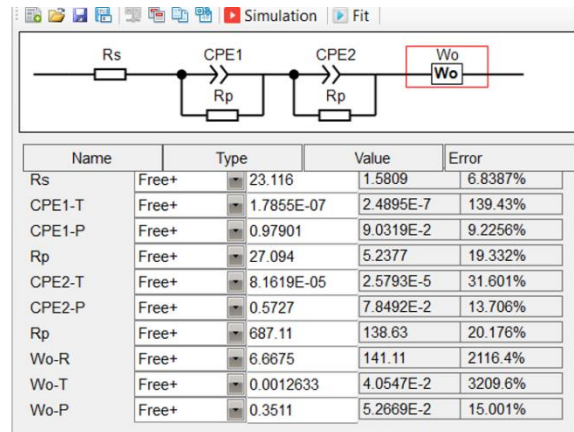
0%



3%



1%



5%

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA TiO_2 SEBAGAI MATERIAL COATING PADA SINTESIS KATODA $\text{LiNi}_{0.9}\text{Mn}_{0.05}\text{Co}_{0.05}\text{O}_2$ (NMC955) TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITIUM**”. Adapun laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat kelulusan mahasiswa S1 di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis, di antaranya adalah:

1. Orang tua, saudara, dan rekan yang telah mendoakan dan mendukung penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir serta kegiatan perkuliahan.
2. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
4. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah mendoakan dan mendukung penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir serta kegiatan perkuliahan.
5. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si., Ph.D. selaku kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama kegiatan perkuliahan.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, karyawan, dan rekan-rekan perkuliahan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama kegiatan perkuliahan.
7. Alvan Alfaridzi dan Elsanti Anggraini Gunawan selaku anggota tim yang membantu penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
8. Rekan – rekan tim sebelah mahasiswa tugas akhir bidang baterai, Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam, Rikza Octavian Pratama, dan Mila Fatikah Sari yang membantu penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan, demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini, terima kasih.

Surabaya, 20 Juli 2022
Penulis

Salamulloh Abdul Hadi
NRP. 02511840000100

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Nama saya adalah Salamulloh Abdul Hadi, biasa dipanggil Salam, lahir di Mojokerto, 28 September 2000. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SD Yapita Surabaya (2005 – 2011), SMP Negeri 19 Surabaya (2011 – 2014), dan SMA Negeri 16 Surabaya (2014 – 2017). Pada tahun 2018 pasca kelulusan SMA, penulis melanjutkan studi sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi (DTMM), Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem (FTIRS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama berkuliah di ITS, penulis sempat mengikuti kerja praktek di perusahaan bidang pengecoran logam yaitu PT. Sinar Semesta bertempat di Klaten, Jawa Tengah selama satu bulan. Dalam kegiatan tersebut, penulis ditempatkan di bagian divisi produksi. Kegiatan non – akademik penulis selama masa perkuliahan antara lain aktif di berbagai kepanitiaan acara kampus, seperti ITS OPEN. Pada tingkat departemen, penulis juga aktif di Badan Semi Otonom Kewirausahaan, Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan

Metalurgi (HMMT) FTI ITS selama dua periode. Penulis juga pernah mengemban amanah sebagai Kepala Departemen Community Development Organisasi Beasiswa Karya Salemba Empat (KSE) ITS.