

**PENGARUH DIMENSI TERHADAP PERFORMA BATERAI  
*POUCH PRISMATIC* DENGAN MATERIAL KATODA NMC541**

**Skripsi**



Disusun Oleh:

**Michael Hardian**

**3331200071**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON - BANTEN**

**2024**

**PENGARUH DIMENSI TERHADAP PERFORMA BATERAI  
*POUCH PRISMATIC* DENGAN MATERIAL KATODA NMC541**

**Skripsi**

**Untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada Jurusan Teknik  
Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

**Michael Hardian**

**3331200071**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON - BANTEN  
2024**

## TUGAS AKHIR

**Pengaruh Dimensi Terhadap Performa Baterai Pouch Prismatik Dengan Material Katoda Nmc541**

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Michael Hardian**  
3331200071

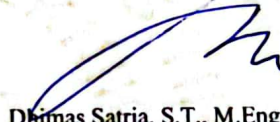
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 23 Januari 2024

**Pembimbing Utama**



Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T.  
NIP. 198902262015041000

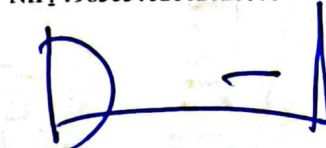
**Anggota Dewan Penguji**



Dhimas Satria, S.T., M.Eng  
NIP. 198305102012121006



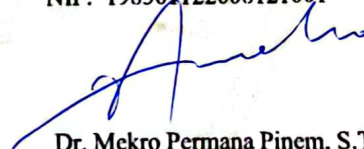
Emy Listijorini, S.T., M.T  
NIP. 197011022005012001



Dr. Dwinanto, ST., MT.  
NIP. 198301122008121001



Dr. Yustinus Purwamargapratala, S.T., M.Si  
NIP. 196604081990011001



Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T.  
NIP. 198902262015041000



Emy Listijorini, S.T., M.T  
NIP. 197011022005012001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Tanggal, 26 Januari 2024  
Kema Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Dhimas Satria, S.T., M.Eng  
NIP. 198305102012121006

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Michael Hardian

NPM : 3331200071

Judul : Pengaruh Dimensi Terhadap Performa Baterai *Pouch Prismatic*  
dengan material katoda NMC541

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya

Cilegon, 26 Januari 2024

  
**Michael Hardian**  
NPM. 3331200071

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Tuhan Yesus Kristus, oleh karena anugerah-Nya yang melimpah akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Penulisan tugas akhir dengan judul “PENGARUH DIMENSI TERHADAP PERFORMA BATERAI *POUCH PRISMATIC* DENGAN MATERIAL KATODA NMC541” ini dilakukan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam mencapai Gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga saat ini, penyusunan tugas akhir ini mustahil dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Hardy dan Ibu Sri Aryati, selaku orang tua penulis, Richard Hardian dan Elisa Hardian selaku kakak dan adik penulis, yang memberikan dukungan dalam menjalani kegiatan perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir.
2. Bapak Dhimas Satria S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Bapak Haryadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu membimbing penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
5. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang membantu penyusunan Tugas Akhir.
6. Ibu Erny Listijorini, ST., MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir.
7. Bapak Dr. Yustinus Purwamargapratala, S.T., M.Si selaku pembimbing lapangan tugas akhir selama menyusun Tugas Akhir di BRIN.
8. Ibu Miftahul Jannah, M.T., selaku Koordinator seminar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
9. Seluruh Staf dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ageng Tirtayasa.
10. Seluruh rekan-rekan, research asisten dan staff BRIN yang sudah membantu dalam pelaksanaan magang dan kerja praktik.

11. Teman-teman dari Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2020 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah menemani dalam perkuliahan selama ini.

Akhir kata penulis menyadari banyak sekali kekurangan dalam penyusunan dan penulisan dalam tugas akhir ini, baik dari segi tata bahasa, kalimat, maupun isi. Oleh karena itu penulis menerima segala kritik dan saran yang dapat membangun agar laporan tugas akhir ini dapat memberikan banyak manfaat serta menambah wawasan bagi seluruh pembaca.

Cilegon, Januari 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Michael H.', written in a cursive style.

Michael Hardian

## ABSTRAK

Baterai lithium-ion (LiB) memainkan peran utama dalam penyimpanan energi untuk berbagai aplikasi mulai dari perangkat elektronik portabel dan kendaraan hibrida/listrik. Kinerja baterai Li-ion bergantung pada kinerja katoda. Selain katoda, dimensi baterai juga memiliki pengaruh. Secara umum, ukuran baterai berhubungan langsung dengan kapasitas penyimpanannya. Reaksi elektrokimia dan proses pertukaran ion dalam baterai Li-ion tidak hanya bergantung pada sifat material elektroda dan elektrolit, tetapi juga sangat tergantung pada struktur geometris dan ukuran elektroda. Dengan memvariasikan dimensi lipatan baterai yakni 6x5, 6x6, dan 6x7, maka jarak dari pengumpul arus positif (aluminium) dan negatif (nikel) juga bervariasi. Semakin jauh jaraknya diperkirakan akan membuat performa baterai kurang optimal, dan sebaliknya. Hasil dari pengujian memperlihatkan bahwa sampel yang dilipat lebih kecil yakni 6x5 memiliki nilai  $R_{ct}$  sebesar  $1,4675 \Omega$ , sedangkan sampel 6x6 dan 6x7 memiliki nilai  $R_{ct}$   $1,656 \Omega$  dan  $2,1107 \Omega$  berturut-turut. NMC541-6x5 memiliki kapasitas *discharge* dan efisiensi terbesar, dengan pengujian 50 siklus rata-rata sebesar  $69,188 \text{ mAh.g}^{-1}$  dengan rerata efisiensi  $99,436 \%$ . Sampel dengan lipatan menengah yakni NMC541-6x6 memiliki kapasitas dan efisiensi 50 siklus rata-rata sebesar  $10,349 \text{ mAh.g}^{-1}$  dan  $89,487\%$  berturut-turut. Untuk sampel dengan lipatan terkecil NMC541-6x7 sebesar  $0,178 \text{ mAh.g}^{-1}$  dan  $48,816\%$  berturut-turut.

Kata Kunci: Baterai kantung, Dimensi, Katoda, Kapasitas, NMC541.

## ABSTRACT

Lithium-ion batteries (LiB) play a major role in energy storage for a variety of applications ranging from portable electronic devices and hybrid/electric vehicles. Li-ion battery performance depends on cathode performance. Apart from the cathode, the dimensions of the battery also have an influence. In general, battery size is directly related to its storage capacity. The electrochemical reactions and ion exchange processes in Li-ion batteries not only depend on the material properties of the electrodes and electrolyte, but also greatly depend on the geometric structure and size of the electrodes. By varying the dimensions of the battery folds, namely 6x5, 6x6, and 6x7, the distance from the positive (aluminium) and negative (nickel) current collectors is also varied. It is estimated that the longer the distance, the less optimal battery performance will be, and vice versa. The results of the test show that the folded sample is smaller, namely 6x5 has an  $R_{ct}$  value of  $1.4675 \Omega$ , while the 6x6 and 6x7 samples have an  $R_{ct}$  value of  $1.656 \Omega$  and  $2.1107 \Omega$  respectively. The NMC541-6x5 has the largest discharge capacity and efficiency, with an average 50 cycle test of  $69.188 \text{ mAh.g}^{-1}$  with an average efficiency of 99.436%. The sample with medium folding, namely the NMC541-6x6, has an average 50 cycle capacity and efficiency of  $10.349 \text{ mAh.g}^{-1}$  and 89.487% respectively. For samples with the smallest folds NMC541-6x7 is  $0.178 \text{ mAh.g}^{-1}$  and 48.816% respectively.

Keywords: Pocket battery, Dimensions, Cathode, Capacity, NMC541



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>State of the Art</i> .....	4
2.2 Baterai dan Prinsip Kerjanya.....	5
2.3 Baterai Lithium-Ion Sekunder.....	6
2.4 Manufaktur Baterai.....	7
2.5 Material Katoda .....	9
2.5.1 LiCoO <sub>2</sub> (LCO) .....	10
2.5.2 LiNiO <sub>2</sub> (LNO).....	11
2.5.3 LiMnO <sub>2</sub> (LMO).....	11
2.5.4 LiFePO <sub>4</sub> (LFP) .....	11
2.5.5 LiFeSO <sub>4</sub> F (LFSF).....	11
2.5.6 LiNi <sub>x</sub> Co <sub>y</sub> Mn <sub>z</sub> O <sub>2</sub> (NCM, aka NMC) .....	11
2.6 Performa Baterai.....	12
2.6.1 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) .....	12
2.6.2 <i>Charge-Discharge</i> (CD) .....	13

2.6.3 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	14
2.7 Baterai Kantung ( <i>Pouch Stacking</i> dan <i>Prismatic</i> ).....	15
2.7.1 Perbedaan Sel Prismatik vs sel <i>pouch stacking</i> .....	16
2.7.2 Penerapan sel prismatik vs sel <i>pouch stacking</i> .....	16
2.7.3 Kelebihan dan kekurangan sel prismatik vs sel <i>pouch stacking</i> ....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	19
3.3 Alat dan Bahan .....	19
3.3.1 Alat yang Digunakan .....	19
3.3.2 Bahan yang Digunakan .....	23
3.4 Prosedur Penelitian.....	25
3.5 Karakterisasi dan Analisis Performa .....	26
3.5.1 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) .....	26
3.5.2 <i>Charge-Discharge</i> (CD) .....	27
3.5.3 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	27
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>28</b>
4.1 Komposisi <i>Slurry</i> Katoda dan Anoda.....	28
4.2 Analisa Data LCR .....	29
4.3 Analisa Data <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	32
4.4 Analisa Data <i>Charge-Discharge</i> (CD) .....	36
4.4.1 Analisa Data <i>Charge Discharge</i> Siklus Panjang .....	39
4.4.2 Analisa Data <i>Charge Discharge</i> Variasi <i>C-Rate</i> .....	49
4.5 Analisa Data <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>
Lampiran A. Foto Dokumentasi Kegiatan.....	61
Lampiran B. Data Hasil Pengukuran.....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Ilustrasi baterai dengan 1 pasang elektroda (kiri) dan 3 pasang elektroda (kanan).....	4
<b>Gambar 2.2</b> Bentuk dan Komponen Baterai.....	5
<b>Gambar 2.3</b> Prinsip kerja baterai lithium ion .....	6
<b>Gambar 2.4</b> Mesin mixing.....	8
<b>Gambar 2.5</b> Proses Kalendering .....	8
<b>Gambar 2.6</b> Menyusun baterai pouch stacking dengan Z -Fold Separator .....	9
<b>Gambar 2.7</b> profil pelepasan katoda-katoda interkalasi (Fisher, 2014) (Adam Sobkowiak, 2013) (Surendra K. Martha, 2011). .....	10
<b>Gambar 2.8</b> Contoh Grafik Hasil CV .....	13
<b>Gambar 2.9</b> Contoh hasil CD (a) Kurva CD muatan awal dalam sel penuh pada 1C; (b) siklus hidup kapasitas CD dalam sel penuh pada 25 °C; (c) kapasitas pelepasan laju dan (d) kurva pelepasan muatan (Xiaopei Zhu, 2022). .....	14
<b>Gambar 2.10</b> Contoh Plot Nyquist (EIS).....	14
<b>Gambar 2.11</b> Equivalent Circuit and Charge-Transfer Control.....	14
<b>Gambar 2.12</b> Baterai pouch stacking dan prismatic .....	15
<b>Gambar 2.13</b> Jenis-Jenis Gulungan Elektroda baterai.....	15
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir pembuatan lembaran anoda Grafit.....	18
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir perakitan dan pengujian baterai.....	19
<b>Gambar 3.3</b> Timbangan Digital .....	20
<b>Gambar 3.4</b> Vacuum Mixer.....	20
<b>Gambar 3.5</b> Wadah Logam .....	20
<b>Gambar 3.6</b> Spatula .....	21
<b>Gambar 3.7</b> Mesin Coating.....	21
<b>Gambar 3.8</b> Mesin Kalendering.....	21
<b>Gambar 3.9</b> Mesin Slitting.....	21
<b>Gambar 3.10</b> Glove Box .....	22
<b>Gambar 3.11</b> Pipet .....	22
<b>Gambar 3.12</b> HIOKI LCR .....	22

<b>Gambar 3.13</b> Mesin Uji CV .....	23
<b>Gambar 3.14</b> Mesin Charge-Discharge .....	23
<b>Gambar 3.15</b> Mesin Uji EIS .....	23
<b>Gambar 3.16</b> Bubuk NMC 541 .....	24
<b>Gambar 3.17</b> Bubuk PVDF .....	24
<b>Gambar 3.18</b> Super P .....	24
<b>Gambar 3.19</b> Pelarut NMP .....	24
<b>Gambar 3.20</b> Alumunium Foil .....	25
<b>Gambar 3.21</b> Cairan elektrolit .....	25
<b>Gambar 4.1</b> Pengukuran LCR .....	30
<b>Gambar 4.2</b> Hasil pengukuran LCR katoda.....	30
<b>Gambar 4.3</b> Hasil pengukuran LCR anoda.....	31
<b>Gambar 4.4</b> Hasil CV NMC541-6x5 .....	32
<b>Gambar 4.5</b> Waktu pengujian CV NMC541-6x5 .....	33
<b>Gambar 4.6</b> Hasil CV NMC541-6x6 .....	33
<b>Gambar 4.7</b> Waktu pengujian CV NMC541-6x6 .....	34
<b>Gambar 4.8</b> Hasil CV NMC541-6x7 .....	34
<b>Gambar 4.9</b> Waktu pengujian CV NMC541-6x7 .....	35
<b>Gambar 4.10</b> Charge discharge 3 siklus pertama NMC541-6x5.....	36
<b>Gambar 4.11</b> Kapasitas spesifik dan efisiensi 3 siklus pertama NMC541-6x5... 37	
<b>Gambar 4.12</b> Charge discharge 3 siklus pertama NMC541-6x6 .....	37
<b>Gambar 4.13</b> Kapasitas spesifik dan efisiensi 3 siklus pertama NMC541-6x6... 38	
<b>Gambar 4.14</b> Charge discharge 3 siklus pertama NMC541-6x7 .....	38
<b>Gambar 4.15</b> Kapasitas spesifik dan efisiensi 3 siklus pertama NMC541-6x7... 39	
<b>Gambar 4.16</b> Hasil CD 50 Siklus NMC541-6x5 .....	40
<b>Gambar 4.17</b> Kapasitas spesifik dan efisiensi 50 siklus NMC541-6x5 .....	40
<b>Gambar 4.18</b> Trend Kapasitas NMC541-6x5 .....	42
<b>Gambar 4.19</b> Hasil CD 50 Siklus NMC541-6x6 .....	43
<b>Gambar 4.20</b> Kapasitas spesifik dan efisiensi 50 siklus NMC541-6x7 .....	43
<b>Gambar 4.21</b> Trend Kapasitas NMC541-6x6 .....	45
<b>Gambar 4.22</b> Hasil CD 50 Siklus NMC541-6x7 .....	45

<b>Gambar 4.23</b> Kapasitas spesifik dan efisiensi 50 siklus NMC541-6x7 .....	46
<b>Gambar 4.24</b> Trend Kapasitas NMC541-6x7 .....	48
<b>Gambar 4.25</b> Pengaruh C-rate terhadap kapasitas baterai .....	49
<b>Gambar 4.26</b> Pengaruh C-rate terhadap kapasitas spesifik dan efisiensi .....	49
<b>Gambar 4.27</b> Hasil EIS; a) NMC541-6x5; b) NMC541-6x6; c) NMC541-6x7..	52
<b>Gambar 4.28</b> Kurva gabungan Nyquist plot .....	53
<b>Gambar 4.29</b> Grafik pengaruh dimensi terhadap resistansi.....	53
<b>Gambar A.1</b> Proses Coating dan Calendaring .....	61
<b>Gambar A.2</b> Susunan Elektroda.....	61
<b>Gambar A.3</b> Variasi Dimensi Lipatan Baterai .....	61
<b>Gambar A.4</b> Hot sealing baterai .....	61
<b>Gambar A.5</b> Pengisian Elektrolit .....	62
<b>Gambar A.6</b> Pengecekan Voltase awal (0 V Jika Short).....	62
<b>Gambar A.7</b> Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i> .....	62
<b>Gambar A.8</b> Pengujian Charge Discharge .....	62
<b>Gambar A.9</b> Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	63

**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 4.1</b> Komposisi slurry anoda .....	28
<b>Tabel 4.2</b> Perhitungan Jumlah Pelarut NMP Anoda .....	28
<b>Tabel 4.3</b> Komposisi slurry katoda .....	28
<b>Tabel 4.4</b> Perhitungan Jumlah Pelarut NMP Katoda .....	29
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Uji Cyclic Voltammetry NMC .....	35
<b>Tabel 4.6</b> Hasil charge discharge 3 siklus pertama NMC541-6x5 .....	36
<b>Tabel 4.7</b> Hasil charge discharge 3 siklus pertama NMC541-6x6 .....	38
<b>Tabel 4.8</b> Hasil charge discharge 3 siklus pertama NMC541-6x7 .....	39
<b>Tabel 4.9</b> Hasil 50 siklus CD NMC541-6x5.....	41
<b>Tabel 4.10</b> Hasil 50 siklus CD NMC541-6x6.....	43
<b>Tabel 4.11</b> Hasil 50 siklus CD NMC541-6x7 .....	46
<b>Tabel 4.12</b> Tabulasi Pengujian Siklus Panjang NMC541 .....	48
<b>Tabel 4.13</b> Pengaruh C-rate terhadap kapasitas dan efisiensi baterai.....	50
<b>Tabel 4.14</b> Hasil uji EIS simulasi dan fitting .....	52
<b>Tabel B.1</b> Hasil Pengukuran Konduktansi Elektroda .....	63
<b>Tabel B.2</b> Koordinat EIS Nyquist Plot NMC .....	64

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baterai lithium-ion (LiB) memainkan peran utama dalam penyimpanan energi untuk berbagai aplikasi mulai dari perangkat elektronik portabel dan kendaraan hibrida/listrik, karena kombinasi energi yang tinggi dan kepadatan daya yang tak tertandingi (Sadik-Zada, 2023) (Chladil L, 2021) (Capkova, 2023). Teknologi baterai isi ulang memungkinkan penyebaran daya cadangan secara luas untuk kendaraan listrik (EV) dan sumber energi yang bersifat intermiten (seperti tenaga surya dan angin), dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Basak, 2022). Untuk memenuhi permintaan energi yang tinggi terutama untuk kendaraan listrik jarak jauh, LIB berenergi tinggi dengan stabilitas siklus panjang perlu dikembangkan. Sampai saat ini, material yang kaya akan Ni seperti lithium, nikel, mangan, kobalt oksida ( $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ );  $x \geq 0.6$  diyakini sebagai katoda generasi berikutnya (Lukman Noerochim, 2021) (Aaron Wade, 2020) (Tsai, 2018). Penerapan dari bahan-bahan ini belum sepenuhnya dikembangkan karena adanya hambatan intrinsik (Nutthaphon Phattharasupakun, 2021). Baterai lithium ion terdapat dalam berbagai dimensi. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia atau KBBI, pengertian dimensi adalah ukuran yang berupa panjang, lebar, tinggi, luas, volume, dll.

Kinerja baterai Li-ion bergantung pada kinerja katoda. Proses penghantaran arus listrik pada baterai berlangsung melalui mekanisme interkalasi-deinterkalasi litium di dalam struktur bahan katoda (Wang, et al., 2019). Selain katoda, dimensi baterai juga memiliki pengaruh yang signifikan. Secara umum, ukuran baterai berhubungan langsung dengan kapasitas penyimpanannya. Baterai yang lebih besar memiliki kapasitas untuk menyimpan lebih banyak energi dibandingkan baterai yang lebih kecil dengan jenis yang sama. Penting untuk diperhatikan bahwa ukuran baterai tidak berhubungan langsung dengan kepadatan energinya, yaitu jumlah energi yang disimpan dalam kaitannya dengan berat atau volume energi.

NMC menawarkan kepadatan energi spesifik yang tinggi yang disumbangkan oleh keberadaan struktur nikel dan spinel dari mangan yang mengarah ke kapasitas reversibel yang lebih tinggi (Shen, et al., 2021). Baterai NMC telah diproduksi dalam berbagai rasio molar Ni:Mn:Co, yaitu 1:1:1, 5:3:2, 6:2:2, dan 8:1:1 (Shen, et al., 2021). Proporsi kobalt yang lebih rendah membuat biaya baterai menjadi lebih. LIB jenis ini telah digunakan oleh beberapa pabrikan EV ternama, seperti BMW, Chevy, dan Nissan (Martins, Guimarães, Botelho Junior, Tenório, & Espinosa, 2021) (Miao, Hynan, Von Jouanne, & Yokochi, 2019). (Thomas Entwistle, 2022), melakukan penelitian metode kopresipitasi katoda NMC dengan perbandingan Ni, Mn, dan Co yang berbeda untuk menentukan komposisi optimal  $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z)\text{O}_2$ . Hasil menunjukkan bahwa kandungan Ni yang lebih tinggi menyebabkan kapasitas pelepasan lebih tinggi, namun stabilitas termal dan kapasitas retensi lebih rendah. Semakin tinggi kandungan Nikel di atas NMC 622, semakin cepat penurunan stabilitas termal. Keuntungan dari peningkatan kapasitas pengosongan ini diimbangi dengan penurunan keamanan baterai. Sel baterai muncul dalam berbagai bentuk. Bentuknya dapat dibagi menjadi silinder dan prisma, sedangkan bentuk prisma dapat dibagi lagi menurut stabilitas wadahnya menjadi sel *hard-case* prisma dan sel kantong prisma (Schröder, Aydemir, & Seliger, 2017).

Penelitian dilakukan untuk mengetahui performa baterai yang menggunakan material katoda NMC541 dan anoda grafit dengan ukuran elektroda yang tetap pada variasi dimensi baterai. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui dimensi optimal baterai berdasarkan performa elektrokimianya. Pengujian performa dilakukan dengan menggunakan uji LCR (Induktansi, Kapasitansi dan Resistansi), EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*), CV (*cyclic voltammetry*), dan CD (*charge discharge*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, dibawah ini adalah rumusan masalah pada penelitian ini:



1. Bagaimana perakitan baterai *pouch prismatic* dengan katoda berbahan NMC541?
2. Bagaimana performa baterai *pouch prismatic* dengan katoda berbahan NMC541?
3. Bagaimana pengaruh dimensi terhadap performa baterai *pouch prismatic* dengan katoda berbahan NMC541?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses perakitan baterai *pouch prismatic* dengan katoda berbahan NMC541.
2. Menganalisis performa baterai *pouch prismatic* yang dihasilkan dengan katoda berbahan NMC541.
3. Menganalisis pengaruh dimensi terhadap performa baterai *pouch prismatic* dengan katoda berbahan NMC541.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi dalam merakit dan menguji baterai lithium berbentuk *pouch prismatic*.
2. Sebagai penerapan ilmu mengenai perakitan dan material baterai *pouch*.

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material anoda yang digunakan adalah grafit.
2. Separator yang digunakan berbahan dasar *polypropylene membrane*.
3. Cairan elektrolit yang digunakan adalah  $\text{LiPF}_6$ .
4. Ukuran anoda dan katoda berturut-turut adalah 50 dan 45 cm untuk variasi dimensi 6x5, 6x6, dan 6x7.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aaron Wade, T. M. (2020). Multi-Length Scale Analysis of Individual NMC811 Particle Degradation Using X-Ray Computed Tomography. *The Electrochemical Society*, 2(11), 23. DOI 10.1149/MA2020-021123mtgabs
- Adam Sobkowiak, M. R.-W. (2013, june). Understanding and Controlling the Surface Chemistry of LiFeSO<sub>4</sub>F for an Enhanced Cathode Functionality. *Chemistry of Materials*. doi:<https://doi.org/10.1021/cm401063s>
- Asmae Berrada, K. L. (2019). Energy Storage. In *Gravity Energy Storage* (pp. 1-23). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816717-5.00001-3>
- Aurelien Du Pasquier, I. P. (2003, march). A comparative study of Li-ion battery, supercapacitor and nonaqueous asymmetric hybrid devices for automotive applications. *Journal of Power Sources*, 115(1), 171-178. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00718-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00718-8)
- Basak, S. D. (2022, September). Characterizing battery materials and electrodes via in situ/operando transmission electron microscopy. *The Journal of Chemical Physics*. <https://doi.org/10.1063/5.0075430>
- Benjamin Schumma, S. K. (2023). Dry battery electrode processing, what's next? *Next Energy*, 2023. doi:<https://doi.org/10.1016/>
- Capkova, D. (2023). Investigation of the temperature and DOD effect on the performance-degradation behavior of lithium–sulfur pouch cells during calendar aging. *Applied Energy*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120543>
- Chladil L, K. D. (2021). In-situ XRD study a chromium doped LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>PO<sub>4</sub> Cathode for Li-Ion Battery. *J.Energy Storage*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.est.2021.102907>.
- Emiliano N. Primo, M. C. (2021). Understanding the calendaring processability of LNMC333-based cathodes. *Journal of Power Sources*, 1-11.
- Fisher, M. S. (2014). Lithium and sodium battery cathode materials: computational insights into voltage, diffusion and nanostructural properties. *Chemical Society Reviews*(1). <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/cs/c3cs60199d>

- Guo, D. W. (2016). Co-modification of NMC532 cathode materials with zirconium substitution and surface polypyrrole coating: towards superior high voltage electrochemical performances for lithium ion batteries. *Electrochimica Acta*, 196, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.02.156>
- Hajime Arai, S. O.-i. (1998). Thermal behavior of  $\text{Li}_{1-y}\text{NiO}_2$  and the decomposition mechanism. *Solid State Ionics*, 295-302. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(98\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(98)00075-7)
- K. Mizushima, P. J. (1980).  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  ( $0 < x < 1$ ): A new cathode material for batteries of high energy density. *Materials Research Bulletin*, 15(6), 783-789. doi:[https://doi.org/10.1016/0025-5408\(80\)90012-4](https://doi.org/10.1016/0025-5408(80)90012-4)
- K. M. Shaju, P. B. (2006). Macroporous LNMC333: A High-Power and High-Energy Cathode for Rechargeable Lithium Batteries. *Advanced Materials*, 18(17), 2330-2334. <https://doi.org/10.1002/adma.200600958>
- K. Beard. (2019). *Lindens Handbook of Batteries, 5th Ed.* McGraw Hill Education.
- Li, J., Zhang, M., Dongyan, & Yan, Y. (2020). Effect of Sintering Conditions on Electrochemical Properties of NMC811 as Cathode Material. *International Journal of Electrochemical Science*, 1881 – 1892,. doi:[doi:10.20964/2020.03.63](https://doi.org/10.20964/2020.03.63)
- Li, V. D., & Lee, J. (2018). Na-doped layered  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  with improved rate capability and cycling stability. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 22, 1165-1173.
- Lukman Noerochim, S. a. (2021). Recent Development of Nickel-Rich and Cobalt-Free Cathode Materials for Lithium-Ion Batteries. *Journal of the electrochemical society*, 7(4), 84. <https://doi.org/10.3390/batteries7040084>
- Lvwei Huang, b. Z. (2019). Thermal runaway behavior during overcharge for large-format lithium-ion batteries with different packaging patterns. *Journal Energy of Storage*.
- Martins, L., Guimarães, L., Botelho Junior, A., Tenório, J., & Espinosa, D. (2021). Electric Car Battery: An overview on Global Demand, Recycling and Future Approaches towards Sustainability. *J. Environ. Manag*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113091>

- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current Li-ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. *Energies*(12). <http://doi.org/10.3390/en12061074>
- N. Recham, J.-N. C.-M. (2009, November). A 3.6 V Li-based fluorosulphate insertion positive electrode for LIB. *Nature Materials*, 9, 68-74.
- Naoki Nitta, F. W. (2015, June 5). Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*, 18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mattod.2014.10.040>
- Nina Meddings, M. H.-S. (2020). Application of electrochemical impedance spectroscopy to commercial Li-ion cells: A review. *Journal of Power Sources* , 1-27.
- Nutthaphon Phattharasupakun, J. W. (2021). Core-shell Ni-rich NMC-Nanocarbon cathode from scalable solvent-free mechanofusion for high-performance 18650 Li-ion batteries. *Energy Storage Materials*(36), 485-495. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.01.032>
- Purwamargapratala, Y., Hardian, M., Pinem, M. P., Kartini, E., & Zulfa, A. (2023). The Effect of Increasing the Thickness of NMC541 Cathode Calendaring on the Performance of Lithium-Ion Batteries. *Journal of Electronic Materials*. <https://doi.org/10.1007/s11664-023-10783-2>
- Purwamargapratala, Y., Safitri, J. F., Nursanto, E. B., Jodi, H., Kartini, E., & Zulfia, A. (2023). EFFECT OF AMMONIA ON THE SYNTHESIS OF NMC 541 CATHODE MATERIALS WITH THE SOL-GEL METHOD. *Jurnal Sains Materi Indonesia (JUSAMI)*.
- Purwamargapratala, Y., Sari, C. N., & Kartini, E. (2021). Effect of yttrium oxide Y2O3 on the conductivity of LNCM523 as lithium-ion batteries cathode material. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0066405>
- Purwamargapratala, Y., Sudaryanto, & Akbar., F. (2020). Neutron tomography study of a lithium-ion coin battery. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1436. doi:doi:10.1088/1742-6596/1436/1/012029
- Purwamargapratala, Y., Syahrial, A. Z., Putra, T. Y., Kartini, E., & Jodi, H. (2023). The Conductivity Enhancement of 1.5Li<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Solid Electrolytes by Montmorillonite Addition. *International Journal of Renewable Energy Development*, 186-192.

- Roth, D. H. (2012). A General Discussion of Li Ion Battery Safety. *The Electrochemical Society Interface*, 21, 37. DOI 10.1149/2.F03122if
- Sadik-Zada, E. R. (2023). Sustainable management of lithium and green hydrogen and long-run perspectives of electromobility. *Journal of The Electrochemical Society*, 12, 1992. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121992
- Salvatore, A. A., Bruce, P., Scrosati, B., Tarascon, J.-M., & Schalkwijk, W. v. (2005). Nanostructured materials for advanced energy conversion and storage devices. *Nature Materials*, 77. DOI: 10.1038/nmat1368
- Schröder, R., Aydemir, M., & Seliger, G. (2017). Comparatively assessing different shapes of lithium-ion battery cells. *Procedia Manufacturing*, 104-111. doi: 10.1016/j.promfg.2017.02.013
- Shen, X., Zhang, X., Ding, F., Huang, J., Xu, R., & Chen. (2021). Advanced Electrode Materials in Lithium Batteries: Retrospect and Prospect. *Energy Mater. Adv.* <http://doi.org/10.34133/2021/1205324>
- Sudaryanto, Purwamargapratala, Y., Yulianti, E., Honggowiranto, W., & Kartini., E. (2020). Electrochemical Impedance Spectroscopy Study. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 924. doi:10.1088/1757-899X/924/1/012035
- Surendra K. Martha, O. H. (2011). On the Thermal Stability of Olivine Cathode Materials for Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 158. DOI 10.1149/1.3622849
- Thomas Entwistle, E. e. (2022). Co-precipitation synthesis of nickel-rich cathodes for Li-ion batteries. *Energy Reports*, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.110>
- Tianmei Chen, Y. H. (2020, April). Applications of Lithium-Ion Batteries in Grid-Scale Energy Storage Systems. *Tianjin University*, 26, 209-217.
- Tsai, W. (2018). Single-particle measurements of electrochemical kinetics in NMC and NCA cathodes for Li-ion batteries. *Energy environment science*, 4(11), 860-871. [http://refhub.elsevier.com/S2405-8297\(21\)00038-6/sbref0003](http://refhub.elsevier.com/S2405-8297(21)00038-6/sbref0003)
- Wang, D., Liu, W., Zhang, X., Huang, (2019). Review of Modified Nickel-Cobalt Lithium Aluminate Cathode Materials for Lithium-Ion Batteries. *International journal of Photoenergy*. <http://doi.org/10.1155/2019/2730849>

- Warner, J. T. (2019). Lithium-ion cell Manufacturing. Dalam J. T. Warner, *Lithium-Ion Battery Chemistries: A Primer* (hal. 222-248). Elsevier Science.
- Whittingham, M. (2004). Lithium Batteries and Cathode Materials. *Chemical Review*, 10(104), 4271-4302. <https://doi.org/10.1021/cr020731c>
- Wua, X., Bai, Y., & Li, Z. (2020). Effects of Charging Rates on LNMC622/Graphite Li-ion Cells. *U.S. Department of Energy*. <http://energy.gov/downloads/doe-public-access-plan>
- Xiaopei Zhu, L. C.-Z. (2022). Critical rate capability barrier by the (001) microtexture of a single-crystal cathode for long lifetime lithium-ion batteries. *Journal of Materiomics*, 8(3), 649-655. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2021.11.008>
- Yang, F., Wang, D., Zhao, Y., Tsui, K. L., & Bae, a. S. (2018). A study of the relationship between coulombic efficiency and capacity degradation of commercial lithium-ion batteries. *Energy*, 145, 486–495.
- Yi, Z. (2017). Controllable Synthesis of NMC532OH By a Co-precipitation Method. *Advances in Engineering Research*, 141. <https://www.atlantispress.com/proceedings/icmmce-17/25882388>
- Ylva Olofsson, J. G. (2014). *Impedance spectroscopy characterisation of automotive NMC/graphite Li-ion cells aged with realistic PHEV load profile*. Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana.
- Yongquan Sun, S. Z. (2021). Calendar degradation of LIB under high storage temperature based on EIS. *Microelectronics Reliability*. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2021.114316>
- Yuan, K., Tu, T., Shen, C., Zhou, L., Liu, J., li, J., & Xie, K. (2022). Self-ball milling strategy to construct high-entropy oxide coated LNMC811 with enhanced electrochemical performance. *Journal of Advanced Ceramics*, 11(6), 882-892. <https://doi.org/10.1007/s40145-022-0582-6>
- Zhu, J. a. (2019). Single-crystal based studies for correlating the properties and high-voltage performance of Li[NixMnyCo1-x-y]O2 cathodes. *Journal of Materials Chemistry*, 5463-5474. <https://doi.org/10.1039/c8ta10329a>