

**PENGARUH RASIO ELEKTRODA TERHADAP PERFORMA
BATERAI SILINDER DENGAN KATODA NMC 541**

Skripsi



Disusun Oleh:

Yohanes Juan Bagus Simorangkir

3331200042

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

**PENGARUH RASIO ELEKTRODA TERHADAP PERFORMA
BATERAI SILINDER DENGAN KATODA NMC 541**

Skripsi

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



Disusun Oleh:

Yohanes Juan Bagus Simorangkir

3331200042

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

2024

TUGAS AKHIR


Pengaruh Rasio Elektroda Terhadap Performa Baterai Silinder Dengan Katoda NMC 541

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

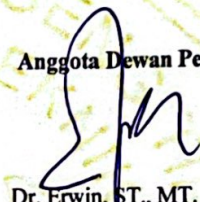
Johanes Juan Bagus Simorangkir
3331200042

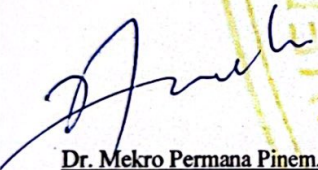
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 26 Januari 2024

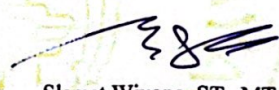
Pembimbing Utama



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

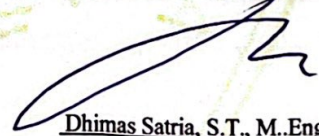
Anggota Dewan Penguji

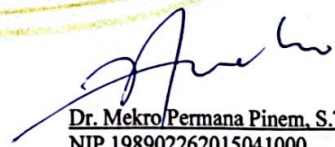

Dr. Erwin, ST., MT.
NIP.197310062009121001


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


Slamet Wiyono, ST., MT.
NIP.197312182005011001


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


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


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

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

Tanggal, 5 Februari 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Yohanes Juan Bagus Simorangkir

NPM : 3331200042

Judul : PENGARUH RASIO ELEKTRODA TERHADAP PERFORMA
BATERAI SILINDER DENGAN KATODA NMC 541

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, 21 Februari 2024



Yohanes Juan Bagus Simorangkir

NPM. 3331200042

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karuniaNya penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir. Penulisan laporan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Rasio Elektroda Terhadap Performa Baterai Silinder Dengan Katoda NMC 541” ini dilakukan guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, mulai awal masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini, tentu mustahil untuk dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Sahat Simorangkir dan Ibu Norayanti, selaku orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dalam perkuliahan hingga penyusunan laporan tugas akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Jayanudin, ST., M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Dhimas Satria S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, sekaligus dosen pembimbing pertama yang membantu penyusunan Tugas Akhir.
4. Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua dalam membantu penyusunan Tugas Akhir.
5. Dr. Yustinus Purwamargapratala, S.T., M.Si, selaku Dosen Pembimbing BRIN yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan dan kegiatan tugas akhir di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
6. Dr. Eng., Hendra, ST., MT., selaku dosen pembimbing akademik yang membantu penulis dari awal perkuliahan.
7. Ibu Miftahul Jannah, M.T., selaku Koordinator seminar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Seluruh Staf dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ageng Tirtayasa.

9. Teman-teman dari Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2020 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah membantu dan mendukung dalam perkuliahan selama ini.

Penulis menyadari banyak sekali kekurangan dalam penyusunan dan penulisan pada laporan tugas akhir ini, baik dalam penulisan kata, 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 seluruh pembaca.

Cilegon, Januari 2024



Penulis

ABSTRAK

Pada saat ini, penggunaan energi baru terbarukan dan ramah lingkungan semakin meningkat. Sudah banyak penelitian dan inovasi teknologi yang dilakukan untuk menghasilkan peralatan konversi energi menggunakan energi baru terbarukan. Dalam menyimpan energi tersebut digunakan baterai karena energi yang dikonversikan merupakan energi listrik. Oleh karena itu, penting juga untuk dipahami mengenai proses perakitan dan karakterisasi baterai agar proses manufaktur baterai menjadi lebih efektif dan efisien. Pada saat ini, penelitian terhadap desain baterai terhadap pengaruh performa baterai sudah banyak dilakukan. Penelitian sebelumnya meliputi pengaruh panjang, lebar, dan tebal lapisan dari lembaran anoda dan katoda. Pada penelitian saat ini berfokus kepada panjang lembaran anoda dan katoda. Penelitian diawali dengan melakukan sintesis material katoda $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{0,4}\text{Co}_{0,1}\text{O}_2$ (NMC541). Setelah mendapatkan material aktif katoda NMC 541 dilakukan proses perakitan baterai. Proses perakitan diawali dengan proses *mixing*. Setelah itu, melalui proses *coating* hingga akhirnya baterai dirakit didalam *glove box*. Langkah berikutnya adalah melakukan pengujian elektrokimia baterai meliputi uji *charge-discharge*, *cyclic voltammetry* (CV), *impedance capacitance resistance* (LCR) meter, dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS). Rasio elektroda optimal terjadi pada rasio 37,5:37,5. Sementara itu, rasio 35:40 dan 40:35 menghasilkan performa elektrokimia lebih rendah dibandingkan rasio 37,5:37,5. Rasio 35:40 menghasilkan kapasitas $42,164 \text{ mAh.g}^{-1}$, hambatan transfer elektron $0,07\Omega$, tegangan anodik 4,1971 V, tegangan katodik 3,4447 V, arus anodik 0,091364 A, dan arus katodik 0,074521 A. Rasio 40:35 menghasilkan kapasitas $152,781 \text{ mAh.g}^{-1}$, tegangan anodik 4,1989 V, tegangan katodik 3,7374 V, arus anodik 0,03969 A, dan arus katodik 0,005369 A.

Kata Kunci: Baterai Silinder, NMC 541, Katoda, Anoda, Rasio Panjang Elektroda

ABSTRACT

Currently, the use of new, renewable and environmentally friendly energy is increasing. There has been a lot of research and technological innovation carried out to produce energy conversion equipment using new, renewable energy. Batteries are used to store this energy because the energy converted is electrical energy. Therefore, it is also important to understand the battery assembly and characterization process so that the battery manufacturing process becomes more effective and efficient. Currently, much research has been carried out on battery design on the influence of battery performance. Previous research included the influence of length, width and layer thickness of the anode and cathode sheets. The current research focuses on the length of the anode and cathode sheets. The research began by synthesizing the cathode material $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.4}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$ (NMC541). After obtaining the NMC 541 active cathode material, the battery assembly process is carried out. The assembly process begins with a mixing process. After that, it goes through a coating process until finally the battery is assembled in the glove box. The next step is to carry out electrochemical testing of the battery including charge-discharge tests, cyclic voltammetry (CV), impedance capacitance resistance (LCR) meter, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The optimal electrode ratio occurs at a ratio of 37.5:37.5. Meanwhile, the ratios 35:40 and 40:35 produce lower electrochemical performance than the ratio 37.5:37.5. A ratio of 35:40 produces a capacity of $42.164 \text{ mAh.g}^{-1}$, electron transfer resistance of 0.07Ω , anodic voltage of 4.1971 V, cathodic voltage of 3.4447 V, anodic current of 0.091364 A, and cathodic current of 0.074521 A. Ratio 40:35 produces a capacity of $152.781 \text{ mAh.g}^{-1}$, anodic voltage 4.1989 V, cathodic voltage 3.7374 V, anodic current 0.03969 A, and cathodic current 0.005369 A.

Keywords: Cylindrical Battery, NMC 541, Cathode, Anode, Electrode Length Ratio

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
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
1.6 Metodologi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sejarah Baterai Lithium-Ion	5
2.2 Jenis-Jenis Baterai	7
2.3 Material Katoda	9
2.4 Proses Manufaktur Baterai	10
2.4.1 Slurry mixing	10
2.4.2 Coating, Drying, dan Solvent Recovery	12
2.4.3 Calendaring	14
2.4.4 Slitting.....	15
2.4.5 Cell Assembly	16
2.4.6 Formation	18
2.5 Bentuk Baterai Lithium-Ion	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan yang digunakan.....	24
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian	33
3.4 Prosedur Penelitian.....	33
3.4.1 Proses Pembuatan Lembaran Katoda.....	33
3.4.2 Proses Pembuatan Lembaran Anoda	34
3.4.3 Proses Perakitan Baterai Silinder	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Komposisi Bahan Anoda dan Katoda.....	36
4.2 Analisis Konduktansi dan Konduktivitas Material.....	36
4.3 Analisis Kapasitas Baterai Menggunakan <i>Charge-Discharge Battery</i> <i>System</i>	39
4.4 Analisis Nilai Hambatan <i>Charge Transfer</i> Menggunakan <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	41
4.5 Analisis Elektrokimia Baterai Menggunakan <i>Cyclic Voltammetry</i>	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baterai Whittingham.....	6
Gambar 2.2 Baterai Goodenough Pengembangan Penelitian Sebelumnya	6
Gambar 2.3 Proses pembentukan slurry melalui tahapan mixing	10
Gambar 2.4 Planetary Vacuum Mixer	11
Gambar 2.5 Bahan-bahan untuk proses mixing. a. N-Methyl Pyrrolidone (NMP), b. Polyvinylidene Fluoride (PVDF), dan c. Carbon Conductive (Super P)	11
Gambar 2.6 Tahapan coating untuk membuat lembaran elektroda	12
Gambar 2.7 Coating and drying machine	13
Gambar 2.8 Proses Calendaring Pada Manufaktur Baterai Lithium-Ion.....	14
Gambar 2.9 Proses Slitting Pada Manufaktur Baterai Lithium-Ion	15
Gambar 2.10 Penggunaan Glove Box Untuk Perakitan Baterai.....	16
Gambar 2.11 Wound Cell atau Baterai Silinder.....	17
Gambar 2.12 Stacked Cell atau Baterai Pouch.....	17
Gambar 2.13 Tahapan Pada Proses Formation	18
Gambar 2.14 Bentuk-bentuk baterai lithium-ion.....	19
Gambar 2.15 Proses Manufaktur Baterai Lithium-Ion Berbentuk Silinder dan Prismatik	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2 Schematic Diagram Of The Experimental Setup.....	23
Gambar 3.3 Vacuum Mixer.....	25
Gambar 3.4 Mesin coating dan drying	25
Gambar 3.5 Mesin calendaring.....	25
Gambar 3.6 Mesin Slitting.....	26
Gambar 3.7 Ultrasonic Welder	26
Gambar 3.8 Winding Machine.....	27
Gambar 3.9 Spot Welder.....	27
Gambar 3.10 Grooving Machine	27
Gambar 3.11 Glove Box	28
Gambar 3.12 Alat Uji Charge-Discharge.....	28

Gambar 3.13 Alat uji cyclic votammetry.....	29
Gambar 3.14 LCR meter	29
Gambar 3.15 Electrochemical Impedance Spectroscopy	30
Gambar 3.16 Polyvinylidene Fluoride.....	30
Gambar 3.17 Karbon Konduktif (carbon black).....	31
Gambar 3.18 Material NMC 541	31
Gambar 3.19 N-Methyl Pyrrolidone (NMP)	32
Gambar 3.20 Larutan elektrolit (LiPF ₆)	32
Gambar 4.1 Nilai Konduktansi Pada Lembaran Katoda. (a) Pengukuran pertama dan (b) Pengukuran kedua.....	37
Gambar 4.2 Nilai Konduktansi Pada Lembaran Anoda. (a) Pengukuran pertama dan (b) Pengukuran kedua.....	37
Gambar 4.3 Pengujian Charge-Discharge dengan sebanyak 3 cycles. (a)NMC541 35-40, (b) NMC541 37,5-37,5, dan NMC541 40-35.	39
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Dengan Variasi Rasio Elektroda Baterai. (a) NMC541 35-40, (b) NMC541 37,5-37,5, dan (c) NMC541 40-35.	41
Gambar 4.5 Grafik pada analisis Cyclic Voltammetry	43
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengukuran Cyclic Voltammetry Terhadap Ketiga Sampel. a) NMC541 35-40, b) NM541 37,5-37,5 c) NMC541 40-35.....	44
Gambar 4.7 Nilai Puncak Tegangan Anodik dan Tegangan Katodik dari NMC541 35-40, NMC541 37,5-37,5, dan NMC541 40-35.....	45
Gambar 4.8 Nilai Puncak Arus Anodik dan Pucak Arus katodik dari sampel NMC541 35-40, NMC541 37,5-37,5, dan NMC541 40-35.....	46
Gambar A.1 Proses membuat gulungan baterai menggunakan winding machine66	
Gambar A.2 Alat dan Bahan yang disiapkan untuk merakit baterai silinder.....	66
Gambar A.3 Baterai Silinder dengan Katoda LiNi _{0,5} Mn _{0,4} Co _{0,1} O ₂	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penamaan sampel dan keterangan setiap sampel yang diuji	24
Tabel 4.1 Perbandingan bahan-bahan pada lembaran anoda dan katoda	36
Tabel 4.2 Konduktivitas Bahan Untuk Anoda dan Katoda.....	38
Tabel 4.3 Nilai kapasitas maksimum untuk sampel 35:40, 37,5:37,5, dan 40:3540	
Tabel 4.4 Nilai Zi dan Zo pada sampel NMC541 35-40 dan NMC541 37,5-37,542	
Tabel I.1 Data Nilai Konduktansi Lembaran Katoda Pengukuran Pertama.....	53
Tabel I.2 Data Nilai Konduktansi Lembaran Katoda Pengukuran Kedua	54
Tabel II.1 Data Nilai Konduktansi Lembaran Anoda Pengukuran Pertama	56
Tabel II.2 Data Nilai Konduktansi Lembaran Anoda Pengukuran Kedua	57
Tabel III.1 Data Pengujian Charge-Discharge Pada Sampel NMC541 7-8.....	59
Tabel III.2 Data Pengujian Charge-Discharge Pada Sampel NMC541 1-1	59
Tabel III.3 Data Pengujian Charge-Discharge Pada Sampel NMC541 8-7.....	60
Tabel IV.1 Data Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy Pada Sampel NMC541 7-8	61
Tabel IV.2 Data Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy Pada Sampel NMC541 1-1	62
Tabel IV.3 Data Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy Pada Sampel NMC541 8-7	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, penggunaan energi baru terbarukan dan ramah lingkungan semakin meningkat. Sudah banyak penelitian dan inovasi teknologi yang dilakukan untuk menghasilkan peralatan konversi energi menggunakan energi baru terbarukan. Dalam menyimpan energi tersebut digunakan baterai karena energi yang dikonversikan merupakan energi listrik. Oleh karena itu, penting juga untuk dipahami mengenai proses perakitan dan karakterisasi baterai agar proses manufaktur baterai menjadi lebih efektif dan efisien.

Baterai saat ini juga semakin meningkat penggunaannya dalam industri kendaraan listrik atau *electric vehicle* (EV). Penggunaan baterai juga memiliki peranan penting di bidang energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan. Salah satu bagian pada baterai yang sangat mempengaruhi performa baterai adalah elektroda baterai. Elektroda meliputi katoda dan anoda. Katoda merupakan lembaran elektroda yang dilapisi material aktif yang menjadi kutub bermuatan positif. Anoda adalah lembaran elektroda yang dilapisi material aktif yang menjadi kutub bermuatan negatif.

Material katoda yang digunakan adalah NMC541 dengan rumus kimia $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.4}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$. Material ini memiliki keunggulan yaitu densitas energi tinggi dan stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan jenis material NMC lainnya. Selain itu, material anoda yang digunakan adalah grafit. Grafit memiliki keunggulan biaya yang relatif rendah, kepadatan energi yang tinggi, dan siklus hidup yang sangat panjang.

Pada saat ini, penelitian terhadap desain baterai terhadap pengaruh performa baterai sudah banyak dilakukan. Penelitian sebelumnya meliputi pengaruh panjang, lebar, dan tebal lapisan dari lembaran anoda dan katoda. Pada penelitian saat ini berfokus kepada panjang lembaran anoda dan katoda. Hal ini disebabkan untuk variasi lebar lembaran anoda dan katoda dibatasi dengan tinggi *case* baterai silinder. Sementara itu, untuk tebal lapisan pada lembaran

anoda dan katoda juga dapat mempengaruhi jumlah gulungan yang digunakan dan panjang lembaran anoda dan katoda yang akan dibentuk. Semakin tebal lapisan material aktif pada lembaran anoda dan katoda maka semakin besar diameter untuk membuat gulungan baterai silinder. Oleh karena itu, agar penelitian dapat berfokus pada desain panjang lembaran anoda dan katoda maka penelitian terhadap tebal lapisan tidak dilakukan. Penelitian terhadap tebal lapisan pada lembaran anoda dan katoda baterai silinder dapat dilakukan pada penelitian berikutnya.

Panjang anoda dan katoda yang digunakan jumlah panjang keduanya dibatasi sampai dengan 75 cm karena apabila jumlah panjang keduanya lebih dari 75 cm maka gulungan lembaran anoda dan katoda tidak dapat masuk kedalam *case* baterai silinder (J. Sturm, 2020). Pada penelitian ini menggunakan tiga variasi. Variasi pertama adalah 37,5:37,5 dimana panjang anoda 37,5 cm dan panjang katoda 37,5 cm. Variasi kedua adalah 35:40 dimana panjang anoda adalah 35 cm dan panjang katoda 40 cm. Karena jumlah panjang anoda dan katoda dibatasi 75 cm dan jarak panjang anoda dan katoda terhadap variasi 37,5:37,5 dibuat sama yaitu 2,5 cm maka digunakan variasi 35:40 (anoda lebih pendek) panjang anoda selisih 2,5 cm dari rasio 37,5:37,5 dan panjang katoda selisih 2,5 cm dari rasio 37,5:37,5. Variasi ketiga adalah 40:35 dimana panjang anoda adalah 40 cm dan panjang katoda adalah 35 cm. Karena jumlah panjang anoda dan katoda dibatasi 75 cm dan jarak panjang anoda dan katoda terhadap variasi 37,5:37,5 dibuat sama yaitu 2,5 cm maka digunakan variasi 40:35 (anoda lebih panjang) panjang anoda selisih 2,5 cm dari rasio 37,5:37,5 dan panjang katoda selisih 2,5 cm dari rasio 37,5:37,5.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rasio elektroda dapat mempengaruhi performa elektrokimia baterai?
2. Rasio berapakah yang menjadi rasio elektroda optimal untuk baterai lithium-ion berbentuk silinder?

3. Berapakah kapasitas, tegangan anodik-katodik, konduktivitas, dan hambatan transfer elektron yang dihasilkan pada rasio elektroda optimal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, didapatkan tujuan dari penelitian yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh rasio elektroda terhadap performa elektrokimia baterai lithium-ion.
2. Menganalisis rasio elektroda optimal untuk baterai lithium-ion berbentuk silinder dengan katoda NMC541.
3. Menganalisis nilai performa elektrokimia pada rasio elektroda optimal berupa kapasitas, tegangan anodik-katodik, konduktivitas, dan hambatan transfer elektron.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa manfaat yang diperoleh dari kegiatan yang penelitian di bidang baterai lithium-ion:

1. Sebagai referensi untuk perancangan baterai lithium-ion berbasis katoda NMC 541.
2. Sebagai penerapan ilmu Teknik Mesin dalam proses manufaktur baterai lithium-ion.
3. Dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan penelitian berikutnya di bidang baterai lithium-ion.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah ditetapkan dalam penelitian agar penelitian ini berjalan sesuai dengan tujuannya. Berikut ini adalah batasan masalah:

1. Kebutuhan akan baterai lithium-ion yang memiliki keamanan tinggi dan performa terbaik melalui pengujian baterai NMC 541 berbentuk silinder.
2. Dalam penelitian, menggunakan material Katoda NMC 541 yang sudah dilakukan penelitian sebelumnya oleh peneliti dari Badan Riset dan Inovasi Nasional.

3. Rasio elektroda yang divariasikan dilakukan untuk melihat pengaruh desain rasio elektroda terhadap performa baterai lithium-ion.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian dan analisis data berdasarkan sampel baterai yang sudah dirakit. Berikut ini merupakan data yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Data pengujian *charge-discharge* untuk mengetahui kapasitas baterai lithium-ion.
2. Data pengujian *cyclic voltammetry* untuk mengetahui tegangan anodik dan tegangan katodik.
3. Data konduktivitas bahan untuk mengetahui nilai konduktansi dan konduktivitas dari bahan anoda dan katoda
4. Data pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* untuk mengetahui hambatan transfer electron pada baterai yang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, S., Zhang, X., Xia, M., Wei, K., Zhang, L., Zhang, X., . . . Shu, J. (2021). Issues and challenges of layered lithium nickel cobalt manganese oxides for lithium-ion batteries. *J. Electroanal. Chem.*
- Christina Toigo, M. K.-H. (2021). Rheological Properties of Aqueous Sodium Alginate Slurries for LTO Battery Electrodes. *polymers*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.3390/polym13203582>
- Gong, C. X. (2016). Advanced carbon materials/olivine LiFePO₄ composites cathode for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 93-112.
- Günter, F., & Wassiliadis, N. (2022). State of the Art of Lithium-Ion Pouch Cells in Automotive Applications: Cell Teardown and Characterization. *J. Electrochem. Soc.*
- Imke Krüger, M. S. (2009). Thermal Modeling of Automotive Lithium Ion Cells using the Finite Elements Method in Modelica. *Proceedings 7th Modelica Conference* (pp. 1-8). Como, Italy: The Modelica Association. doi:<http://dx.doi.org/10.3384/ecp09430072>
- J. Sturm, A. F. (2020). Impact of Electrode and Cell Design on Fast Charging Capabilities of Cylindrical Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*. doi:10.1149/1945-7111/abb40c
- Kang, H. C. (2008). Optimized solid-state synthesis LiFePO₄ cathode materials using ball-milling. *Journal of Power Sources*, 340-346.
- Liu, Z. (2023, August 31). *The History of the Lithium-Ion Battery*. Retrieved from Thermofisher: <https://www.thermofisher.com/blog/materials/the-history-of-the-lithium-ion-battery/>
- Mogalahalli V. Reddy, A. M. (2020). Brief History of Early Lithium-Battery Development. *materials*, 1-9.
- Moumita Kotal, S. J. (2022). Cathode materials for rechargeable lithium batteries: Recent progress and future prospects. *Journal Of Energy Storage*, 47, 1-26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103534>

- Muhammad Thowil Afif, I. A. (2015). ANALISIS PERBANDINGAN BATERAI LITHIUM-ION, LITHIUM-POLYMER, LEAD ACID DAN NICKEL-METAL HYDRIDE PADA PENGGUNAAN MOBIL LISTRIK - REVIEW. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 95-99.
- Patrick S Grant¹⁴, 1. D. (2022). Roadmap on Li-ion battery manufacturing research. *Journal of Physics: Energy*, 4. doi:10.1088/2515-7655/ac8e30
- Putri Nadia Suryadi, J. K. (2023). Toward high-rate capability of intercalation cathodes Li-ion batteries, potency for fast-charging application: A materials perspective. *Journal of Energy Storage*. doi:https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107634
- Robert Schröder, M. A. (2017). Comparatively assessing different shapes of lithium-ion battery cells. *Procedia Manufacturing*, 104-111.
- Robert Schröder, M. A. (2016). Design and verification of an innovative handling system for electrodes in manufacturing lithium-ion battery cells. *26th CIRP Design Conference*, 641-646. doi:10.1016/j.procir.2016.04.198
- Slamet Priyono, M. A. (2016). PEMBUATAN ANODA Li₄Ti₅O₁₂ DAN STUDI PENGARUH KETEBALAN ELEKTRODA TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITHIUM. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 146-152.
- Taewhan Kim, W. C.-C.-Y.-S.-S. (2020). Applications of Voltammetry in Lithium Ion Battery Research. *J. Electrochem. Sci. Technol.*, 14-25. doi:https://doi.org/10.33961/jecst.2019.00619
- Theivaprakasam, S., Girard, G., Howlett, P., Forsyth, M., Mitra, S., & MacFarlane, D. (2018). Passivation behaviour of aluminium current collector in ionic liquid alkyl carbonate (hybrid) electrolytes. *Npj Mater. Degrad.*
- Till Günther, D. S. (2019). Classification of Calendering-Induced Electrode Defects and Their Influence on Subsequent Processes of Lithium-Ion Battery Production. *Energy Technology*. doi:https://doi.org/10.1002/ente.201900026
- Triwibowo, J. P. (2016). study on electrochemical performance of carbon-coated LiFePO₄ as cathode material. *AIP Conference Proceedings*, 150009.

- Wigayati, E. M. (2009). Pembuatan dan Karakterisasi Lembaran Grafit Untuk Bahan Anoda Pada baterai Padat Lithium. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, 9(1), 39-45.
- Xuan, W., Otsuki, A., & Chagnes, A. (2019). Investigation of the leaching mechanism of NMC 811 (LiNi_{0.8}Mn_{0.1}Co_{0.1}O₂) by hydrochloric acid for recycling lithium ion battery cathodes. *RSC Adv*.
- Yamada, A. C. (2001). Optimized LiFePO₄ for Lithium Battery Cathodes. *Journal of The Electrochemical Society*, A224-A229.
- Yangtao Liu, R. Z. (2021). Current and future lithium-ion battery manufacturing. *iScience*, 24(4). doi:<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102332>
- Yoshiyuki Gambe, Y. S. (2015). Development of Bipolar All-solid-state Lithium Battery Based on Quasi-solid-state Electrolyte Containing Tetraglyme-LiTFSa Equimolar Complex. *SCIENTIFIC REPORTS*, 1-4. doi:<http://dx.doi.org/10.1038/srep08869>
- Zohreh Hirbodvash, a. P. (2023). Surface Plasmon Electrochemistry: Tutorial and Review. *chemosensors*. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/chemosensors11030196>