

**FABRIKASI DAN MODIFIKASI PERMUKAAN ANODA $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ DOPING
 $\text{Al}_{0,03}$ DENGAN PIROLISIS KARBON GULA**

SKRIPSI

*Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang
studi Fisika*



Oleh:

MAYSHA RULIA

08021281823045

JURUSAN FISIKA

KBI TEORI DAN MATERIAL

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**FABRIKASI DAN MODIFIKASI PERMUKAAN ANODA $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ DOPING $\text{Al}_{0,03}$
DENGAN PIROLISIS KARBON GULA**

SKRIPSI

*Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang studi
Fisika*

Oleh:

MAYSHA RULIA

08021281823045

Indralaya, Mei 2022

Menyetujui,

Pembimbing I




Dr. Ramlan
NIP.196604101993031003

Pembimbing II



Slamet Priyono, S.Si., M.T.
NIP.1986101520009121004

Mengetahui,
PLT. Ketua Jurusan Fisika
Wakil Dekan I Bidang Akademik



Dr. Hasanudin, M.Si.
NIP.197205151997021003

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Maysha Rulia

NIM : 08021281823045

Judul TA : Fabrikasi dan Modifikasi Permukaan Anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ *Doping* $\text{Ab}_{0.03}$
dengan Pirolisis Karbon Gula

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti etika penulisan karya tulis ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di program studi fisika universitas sriwijaya.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan ataupun keterangan palsu dalam surat pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, Mei 2022

Yang menyatakan



0786AJX839984384

Maysha Rulia
NIM. 08021281823045

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana sains (S.Si), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Tugas Akhir ini dilakukan di Pusat Riset Fisika (PRF) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, pada 2 Juni 2021 hingga 2 September 2021. Laporan tugas akhir ini dengan judul **“Fabrikasi dan Modifikasi Permukaan Anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Doping $\text{Al}_{0,03}$ dengan Pirolisis Karbon Gula”**.

Penulis sangat bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang memberikan kesehatan sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tidaklah terwujud tanpa adanya bantuan dan dukungan serta semangat dalam menjalani proses Tugas Akhir dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih terutama kepada Bapak Dr. Ramlan dan Slamet Priyono, S.Si, M.T., selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah mengarahkan penulis selama tugas akhir ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga kepada :

1. Keluarga : Orangtua, mbak Aan dan Kiki yang selalu memberikan semangat, motivasi serta do'a yang selalu menuntun untuk tetap tegar.
2. Seluruh dosen Fisika FMIPA, yang telah membantu pembelajaran selama kuliah dan tugas akhir.
3. Riset Asisten Laboratorium Baterai “Mas Suryali, Ilham, dan Yusril”, yang selalu membantu selama proses tugas akhir.

Penulis telah berusaha agar laporan tugas akhir ini dapat menjadi karya yang sempurna dan bermanfaat untuk pembaca. Namun, untuk kesempurnaannya penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan untuk penulisan kedepannya. Kritik dan saran yang membangun dari pembaca dapat disampaikan melalui alamat surat elektronik

penulis maysharulia27@gmail.com. Penulis berharap semoga Allah SWT memberkahi laporan tugas akhir ini menjadi karya yang bermanfaat bagi pembaca.

Indralaya, Mei 2022



Maysha Rulia
NIM. 08021281823045

FABRIKASI DAN MODIFIKASI PERMUKAAN ANODA $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ DOPING $\text{Al}_{0,03}$ DENGAN PIROLISIS KARBON GULA

Maysha Rulia^{1,*}

¹*Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya,
Sumatera Selatan, Indonesia*

*maysharulia27@gmail.com

ABSTRAK

Baterai ion lithium dengan anoda Lithium Titanium Oksida ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) yang didoping $\text{Al}_{0,03}$ telah berhasil difabrikasi dengan menggunakan metode *sol gel* pada suhu sintering 850°C selama 4 jam pada atmosfer udara bebas. Setelah proses sintering, bahan aktif digerus dan diayak 400 mesh dan dicampur dengan gula sebanyak 10% wt untuk modifikasi permukaan kemudian dipirolisa dengan *furnace* tabung pada suhu 800°C selama 2 jam dengan dialiri gas nitrogen (N_2). Setelah proses penambahan gula, dilakukan pencucian karbon pada LTOAl-C dengan mencampurkan serbuk LTOAl-C ke dalam ethanol dan diaduk di atas *hot plate* selama 30 menit dan dikeringkan. Serbuk LTOAl-Modifikasi digerus dan diayak 400 mesh. Kemudian serbuk LTOAl-Modifikasi disintering pada suhu 500°C selama 2 jam. Serbuk LTOAl-Modifikasi digerus dan diayak 400 mesh. Material dibuat lembaran anoda dan diassembling menjadi sel baterai lithium di dalam *glove box*. Karakterisasi yang digunakan meliputi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk, ukuran kristal, dan parameter kisi. Hasil analisa XRD menunjukkan adanya fasa LTO dan *rutile* TiO_2 dengan ukuran kristal LTO ($<100\text{ nm}$). Karakterisasi *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FE-SEM) menunjukkan bentuk partikel yang tidak beraturan, aglomerasi, tidak berpori, dan ukuran partikel yang kecil ($\sim 2\mu\text{m}$). Untuk mengetahui performa elektrokimia baterai dilakukan uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), Voltametri Siklik (CV), dan *Charge-Discharge* (CD). Nilai konduktivitas sampel LTOAl dan LTOAl-Modifikasi masing-masing sebesar $83,049 \times 10^{-5}\text{ S/cm}$ dan $192,862 \times 10^{-5}\text{ S/cm}$. Nilai koefisien difusi LTOAl sebesar ($5,703 \times 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$ dan $1,386 \times 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$), ($3,392 \times 10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s}$ dan $9,851 \times 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$) pada LTOAl-Modifikasi. Nilai kapasitas *charge-*

discharge sebesar (108,573 – 108, 722) mAh/g pada LTOAl dan (143,086 - 143,784) mAh/g pada LTOAl-Modifikasi.

Kata Kunci: $\text{Li}_4\text{TisO}_{12}$, Sol Gel, Modifikasi Permukaan, Gula

Indralaya, Mei 2022

Menyetujui:

Pembimbing I



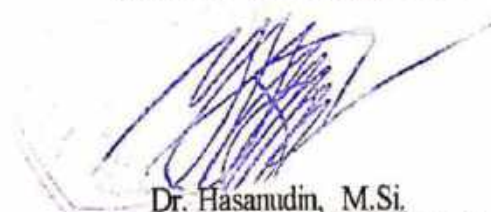
Dr. Ramlan
NIP.196604101993031003

Pembimbing II



Slamet Priyono, S.Si., M.T.
NIP.1986101520009121004

Mengetahui,
PLT. Ketua Jurusan Fisika
Wakil Dekan I Bidang Akademik



Dr. Hasanudin, M.Si.
NIP.197205151997021003

FABRICATION AND SURFACE MODIFICATION OF ANODE $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ DOPING $\text{Al}_{0.03}$ WITH PYROLYSIS OF SUGAR CARBON

Maysya Rufa^{1,*}

¹*Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science, University of Sriwijaya, South Sumatera, Indonesia*

**mayshanilia27@gmail.com*

ABSTRACT

A lithium ion battery with Lithium Titanium Oxide ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) anodedoped with $\text{Al}_{0.03}$ has been successfully fabricated using the sol gel method at a sintering temperature of 850° C for 4 hours in an atmosphere of free air. After the sintering process, the active ingredients are ground and sieved through 400 mesh and mixed with 10% wt sugar for surface modification, then pyrolyzed in a tube furnace at a temperature of 800° C for 2 hours with nitrogen gas flowing. After the process of adding sugar, do a carbon wash on LTOAl-C by mixing LTOAl-C powder into ethanol and stirred on a hot plate for 30 minutes and dried. LTOAl-Modified powder was ground and sieved 400 mesh. Then the LTOAl-Modified powder was sintered at 500° C for 2 hours. LTOAl-Modified powder was ground and sieved 400 mesh. The material is made of anode sheets and assembled into lithium battery cells in a glove box. The characterization used includes X-Ray Diffraction (XRD) to determine the formed phase, crystal size, and lattice parameters. The results of XRD analysis showed the presence of LTO and rutile TiO_2 phases with LTO crystal size (< 100 nm). Characterization of Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) showed irregular particle shape, agglomeration, non-porous, and small particle size (~ 2 μm). To determine the electrochemical performance of the battery, Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), Cyclic Voltammetry (CV) and Charge-Discharge (CD) tests were carried out. The conductivity values of LTOAl and Modified LTOAl samples were $83,049 \times 10^{-5}$ S/cm and $192,862 \times 10^{-5}$ S/cm, respectively. The LTOAl diffusion coefficient values are ($5,703 \times 10^{-11}$ cm^2/s and $1,386 \times 10^{-11}$ cm^2/s), ($3,392 \times 10^{-10}$ cm^2/s and $9,851 \times 10^{-11}$ cm^2/s) in LTOAl-Modified. The value of the charge-discharge capacity is (108,573 – 108,722) mAh/g on LTOAl and (143,086 - 143,784) mAh/g on LTOAl-Modified.

Keywords: Li₄Ti₅O₁₂, Sol Gel, Surface Modification, Sugar

Indralaya, Mei 2022

Menyetujui:

Pembimbing I



Dr. Ramlan
NIP.196604101993031003

Pembimbing II



Slamet Priyono, S.Si., M.T.
NIP.1986101520009121004

Mengetahui,
PLT. Ketua Jurusan Fisika
Wakil Dekan I Bidang Akademik



Dr. Hasanudin, M.Si.
NIP.197205151997021003

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baterai Ion Litium.....	5
2.2 Struktur Kristal pada LTO.....	6
2.3 Perilaku Elektrokimia.....	7
2.4 Modifikasi Permukaan Karbon LTO.....	8
2.5 Metode Sol Gel.....	9
2.6 Karakterisasi Performa Baterai.....	10
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.3 Diagram Alir Metode Penelitian.....	15
3.4 Proses Pembuatan Bahan Uji dan Pengujian.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Analisa Hasil Serbuk LTOAl dan LTOAl-Modifikasi.....	23
4.2 Analisa Hasil Lembaran LTOAl dan LTOAl-Modifikasi.....	24
4.3 Analisa Karakterisasi XRD.....	24
4.4 Analisa Karakterisasi FE-SEM.....	29
4.5 Analisa Pengujian EIS.....	32

4.6 Analisa Pengujian CV	34
4.7 Analisa Pengujian CD	37
BAB V PENUTUP	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN I	46
LAMPIRAN II	51
LAMPIRAN III	53
LAMPIRAN IV	59
SURAT KETERANGAN	64
PENILAIAN TUGAS AKHIR	65

DAFTAR GAMBAR

2.1 Proses <i>charging</i> dan <i>discharging</i> pada baterai ion litium.....	5
2.2 Struktur kristal LTO	6
2.3 Mekanisme dua fase LTO	8
2.4 Sumber karbon anorganik dan organik terhadap kinerja LTO.....	8
2.5 Tahapan proses sol gel.....	10
2.6 Difraksi sinar-X oleh bidang kristal	11
3.1 Diagram alir sintesis serbuk LTOAl dengan metode sol gel	16
3.2 Diagram alir penambahan karbon pada LTOAl	17
3.3 Diagram alir penghapusan karbon pada LTOAl-Modifikasi	17
4.1 Hasil serbuk a) LTOAl, b) LTOAl-C, dan c) LTOAl-Modifikasi	23
4.2 Hasil lembaran (a) LTOAl dan (b) LTOAl-Modifikasi.....	24
4.3 Kurva XRD material LTOAl dan LTOAl-Modifikasi.....	25
4.4 Hubungan antara $4 \sin \theta$ dan $\beta \cos \theta$ pada (a) LTOAl dan (b) LTOAl- Modifikasi.....	28
4.5 Hasil analisa FE-SEM (a) LTOAl dan (b) LTOAl-Modifikasi, dan histogram ukuran partikel (c) LTOAl dan (d) LTOAl-Modifikasi.....	30
4.6 Hasil EDX (a) LTOAl dan (b) LTOAl-Modifikasi, dan kandungan unsur (c) LTOAl dan (d) LTOAl-Modifikasi.....	31
4.7 Plot <i>Nyquist</i> pada LTOAl dan LTOAl-Modifikasi	32
4.8 Grafik hasil pengujian CV pada LTOAl dan LTOAl-Modifikasi.....	34
4.9 Grafik <i>charge-discharge</i> pada sampel LTOAl dan LTOAl-Modifikasi dengan variasi <i>cycle</i>	37

DAFTAR TABEL

3.1	Alat dan bahan penelitian	14
3.2	Massa bahan dasar pembentukan sampel $\text{Li}_4\text{Ti}_{(5-x)}\text{Al}_x\text{O}_{12}$	18
4.1	Persentase fasa hasil XRD dengan menggunakan <i>software</i> Highscore	25
4.2	Parameter kisi untuk sampel LTOAl dan LTOAl-Modifikasi	26
4.3	Ukuran kristal sampel LTOAl dan LTOAl-Modifikasi	28
4.4	Hasil EDX kandungan unsur sampel LTOAl dan LTOAl-Modifikasi	32
4.5	Hasil perhitungan konduktivitas listrik LTOAl dan LTOAl-Modifikasi	33
4.6	Parameter puncak hasil uji CV pada sampel LTOAl	35
4.7	Parameter puncak hasil uji CV pada sampel LTOAl-Modifikasi	35
4.8	Koefisien difusi pada sampel LTOAl dan LTOAl-Modifikasi	36
4.9	Kapasitas <i>charge-discharge</i> pada sampel LTOAl	37
4.10	Kapasitas <i>charge-discharge</i> pada sampel LTOAl-Modifikasi	38

DAFTAR SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Keterangan
Al	: Aluminium
Al _{0,03}	: Doping Aluminium (x = 0,03 mol)
Al ³⁺	: Ion Aluminium
CD	: <i>Charge – Discharge</i>
CNTs	: Tabung Nano Karbon
CV	: <i>Cyclic Voltammetry</i>
EDA	: Etilendiamin
EDX	: <i>Energy Dispersive X-Ray</i>
DMAC	: Dimetilasetamida
EIS	: <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>
FE-SEM	: <i>Field Emission-Scanning Electron Microscope</i>
HCl	: <i>Hidroclik Acid</i>
Li	: Litium
Li ⁺	: Ion Litium
LIB	: <i>Lithium Ion Battery</i>
LTO	: Li ₄ Ti ₅ O ₁₂
LTOAl	: Li ₄ Ti _{4,97} Al _{0,03} O ₁₂
LTOAl-C	: Li ₄ Ti _{4,97} Al _{0,03} O ₁₂ -C
LTOAl-Modifikasi	: Li ₄ Ti _{4,97} Al _{0,03} O ₁₂ -Modifikasi
LTO/C	: Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ -C
PVDF	: Poliviniliden Fluorida
R _{ct}	: <i>Charge Transfer Resistance</i>
R _e	: <i>Electronic Resistance</i>
TBT	: <i>Titanium Butoxide</i>
Ti	: Titanium
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>

BAB I

PEENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai ion litium sebagai perangkat penyimpanan energi yang memiliki kelebihan, yaitu tegangan, energi, dan daya yang tinggi, siklus hidup panjang, dan tidak ada polusi (B. Zhao et al., 2016). Dalam komponen penyusunnya, baterai ion litium terdiri dari katoda, anoda, separator dan elektrolit. Dalam penelitian ini, dibuat dan dikaji suatu material penyusun anoda pada baterai ion litium dalam bentuk *coin cell*. Sebagai bahan anoda, spinel LTO memiliki perubahan struktural yang sangat kecil selama penyisipan/ekstraksi Li^+ dan sebagai bahan regangan nol (*zero-strain*) dengan perubahan volume yang dapat diabaikan selama proses pengisian dan pengosongan (Tang et al., 2017). Selain itu, LTO memiliki kemampuan penyisipan dan ekstraksi Li^+ yang cepat, reversibilitas siklus yang baik dan stabilitas termodinamika yang tinggi karena tegangannya yang stabil pada 1,55 V (vs. Li/Li^+). Akibatnya, penggunaan LTO untuk LIB dapat menghindari pengurangan elektrolit pada permukaan elektroda dan meningkatkan keamanan LIB (Liang et al., 2016). Namun, LTO merupakan bahan semikonduktor yang konduktivitas intrinsiknya hanya 10^{-9} S/cm (Liu et al., 2017) dan koefisien difusi ion litium rendah sebesar $4,55 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ (Nuroniah et al., 2019).

LTO sebagai elektroda negatif membutuhkan kristalisasi tinggi, fase tunggal, ukuran butir kecil dan luas permukaan spesifik yang tinggi. Luas permukaan spesifik yang tinggi mampu menginterkalasi banyak ion litium ke dalam kristal secara efisien. Beberapa cara efektif dapat dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas, yaitu preparasi partikel nanometer (Yao et al., 2018), pelapisan karbon (Cheng et al., 2017) dan didoping dengan ion logam aliovalen (Wu, 2013). Selain itu, pemilihan morfologi memiliki pengaruh penting pada sifat elektrokimia bahan LTO (H. Zhao et al., 2008). Terutama lapisan karbon berfungsi sebagai lapisan penghubung konduktif antara LTO dan elektrolit karena memiliki konduktivitas listrik yang unggul (Gockeln et al., 2018). LTO dengan sumber karbon antara

lain oksida grafena tereduksi, karbon nanotube, serat karbon, karbon amorf dan sumber karbon organik (Yao et al., 2018). Berdasarkan penelitian Yuniati pada tahun 2020 menunjukkan bahwa jumlah doping optimum Al ditemukan sebesar 0,03 mol yang menghasilkan performa sel baterai yang baik, seperti ukuran kristal sebesar 81,11 nm, ukuran partikel sebesar 3,938 μm , kapasitas sebesar 175,277 mAh/g, dan koefisien difusi sebesar $7,312 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{S}$ (Yuniati, 2020). Pada doping Al yang rendah, atom Al mensubstitusi Ti (titanium) dan mensubstitusi Li pada doping Al yang tinggi. Doping Al pada LTO tidak menyebabkan struktur kristalnya berubah. Dengan meningkatnya jumlah doping Al menyebabkan morfologi partikel beraglomerasi dan berpori, *surface area* stabil, ukuran partikel turun, konduktivitas meningkat namun kapasitas menurun (Priyono et al., 2014).

Berdasarkan uraian diatas maka pada penelitian ini dilakukan sintesis LTO doping Al ($x = 0,03 \text{ mol}$) untuk meningkatkan konduktivitas ionik lithium dan koefisien difusi lithiumnya. Pada umumnya, LTO doping Al disintesis dengan menggunakan metode *solid state reaction* memiliki beberapa kekurangan, yaitu homogenitas rendah, ukuran partikel besar, dan luas permukaan kecil (Zhang et al., 2013). Untuk mengatasi kekurangan tersebut, metode sol gel menjadi metode yang efektif untuk mensintesis LTO doping Al karena memiliki kemurnian tinggi, homogenitas baik, dan luas permukaan besar (Mahmoud et al., 2015). Kemudian, dilakukan modifikasi permukaan LTO doping $\text{Al}_{0,03}$ dengan karbon gula melalui proses pirolisis sebagai perkembangan dari penelitian yang dilakukan Yuniati pada tahun 2020. Modifikasi permukaan LTO doping $\text{Al}_{0,03}$ dilakukan dalam bentuk material berpori. Dengan dimodifikasi permukaan anoda menjadi material berpori diharapkan dapat meningkatkan luas permukaan materialnya. Luas permukaan material aktif yang tinggi dapat meningkatkan kontak antara permukaan material aktif dengan larutan elektrolit sehingga meningkatkan kapasitas baterainya. Modifikasi permukaan menggunakan karbon gula karena selain murah dan mudah didapatkan, karbon gula menghasilkan homogenitas yang baik sebagai sumber karbon organik (Yuan et al., 2017) dan sebagai lapisan penghubung konduktif antara LTO dan elektrolit karena memiliki konduktivitas listrik yang unggul (Gockeln et al., 2018). Setelah itu, dilakukan karakterisasi XRD untuk mengetahui fasa,

struktur, dan ukuran kristal, FE-SEM untuk mengetahui morfologi permukaan masing-masing sampel dan ukuran diameter rata-rata dari partikel sampel, EIS untuk menentukan sifat elektrokimia anoda berdasarkan konduktivitas ionik dan konduktivitas elektronik, CV untuk melihat adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang terbentuk pada sampel dan nilai koefisien difusi ion litiumnya, dan CD untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyimpan energi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mensintesis LTO yang didoping ion Al^{3+} dengan menggunakan metode sol gel?
2. Bagaimana melakukan modifikasi permukaan LTO yang didoping ion Al^{3+} dengan karbon gula melalui proses pirolisis?
3. Bagaimana pengaruh modifikasi permukaan LTO yang didoping Al^{3+} terhadap karakteristik fisis (fasa, ukuran kristal, dan morfologi permukaan (bentuk dan ukuran partikel)) LTO dan performa elektrokimia baterai?

1.3 Batasan Masalah

1. Sintesis LTO doping Al menggunakan karbon gula pada baterai lithium dengan bahan baku Litium Asetat ($C_3H_3O_2Li$), *Titanium Butoxide* ($C_{16}H_{36}O_4Ti$), *Hydrochloric Acid* (HCl) 98%, Etanol (C_2H_5OH), dan Aluminium Asetat (CH_3CO_2)₃ melalui metode sol gel.
2. Proses sintering dilakukan pada suhu 850° C selama 24 jam pada atmosfer udara bebas dan 800° C selama 2 jam dengan dialiri gas N_2 .
3. Jumlah doping Al^{3+} dan gula yang digunakan masing-masing sebesar 0,03 mol dan 10% wt.
4. Pengujian performa sel baterai meliputi karakterisasi XRD dan FE-SEM, dan pengujian EIS, CV, dan CD.
5. Perbandingan LTO : PVDF : Super P sebesar 80% : 10% : 10%.
6. Penelitian ini difokuskan untuk mencari hubungan modifikasi permukaan LTO/ Al^{3+} dengan penambahan karbon gula terhadap performa elektrokimia sel baterai.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mensintesis LTO yang didoping ion Al^{3+} dengan menggunakan metode sol gel.
2. Melakukan dan menganalisis modifikasi permukaan LTO/ Al^{3+} dengan karbon gula melalui proses pirolisis.
3. Mengetahui dan menganalisis pengaruh modifikasi permukaan LTO/ Al^{3+} terhadap karakteristik fisis (fasa, ukuran kristal, dan morfologi permukaan (bentuk dan ukuran partikel)) LTO dan performa elektrokimia baterai.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai usaha untuk meningkatkan performa sel baterai litium melalui modifikasi permukaan LTO yang didoping Al^{3+} dengan penambahan karbon gula pada permukaan material LTO/ Al^{3+} sehingga dapat dianalisa karakteristik fisis (fasa, ukuran kristal, dan morfologi permukaan (bentuk dan ukuran partikel)) LTO dan performa elektrokimia sel baterai ion litium.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifani, M., Baqiya, M.A. & Darminto, (2012). Sintesis Multiferoik BiFeO₃ Berbasis Pasir Besi dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1:12.
- Cheng, Q., Tang, S., Liu, C., Lan, Q., Zhao, J., Liang, J., Wei, F., Liu, Z. Q., & Cao, Y. C. (2017). Preparation of Carbon Encapsulated Li₄Ti₅O₁₂ Anode Material for Lithium Ion Battery Through Pre-Coating Method. *Ionics*, 23(11), 3031–3036. <https://doi.org/10.1007/s11581-017-2093-y>.
- Fang, W., Zuo, P., Ma, Y., Cheng, X., Liao, L. & Yin, G. (2013). Facile Preparation of Li₄Ti₅O₁₂/AB/MWCNTs Composite with High-Rate Performance for Lithium Ion Battery. *Electrochimica Acta*, 94, 294-299.
- Feinle, A., Elsaesser, M. & Husing, N. 2016. Sol Gel Synthesis of Monolithic Materials with Hierarchical Porosity. *Journal of Chemistry Society Reviews*, (12), 3377-3399.
- Gockeln, M., Pokhrel, S., Meierhofer, F., Glenneberg, J., Schowalter, M., Rosenauer, A., Fritsching, U., Busse, M., Mädler, L. & Kun, R. (2018). Fabrication and Performance of Li₄Ti₅O₁₂/C Li-Ion Battery Electrodes Using Combined Double Flame Spray Pyrolysis And Pressure-Based Lamination Technique. *Journal of Power Sources*, 374(August 2017), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.11.016>.
- Hakim, L., Dirgantara, M. & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(1):46.
- Hench, L. & West, J., 1990. The Sol Gel Process. *Chemical Reviews*, 1(90), 37-51.
- Hong, J. E., Oh, R. G., Yang, W. G., & Ryu, K. S. (2015). Possibility of Carbon Coating with Li₄Ti₅O₁₂ at Low Temperature for High Rate of Lithium Ion Batteries. *Energy Materials: Materials Science and Engineering for Energy Systems*, 10(2), A18–A23. <https://doi.org/10.1179/1753555714Y.0000000253>.
- Jiang, S., Zhao, B., Chen, Y., Cai, R., & Shao, Z. (2013). Li₄Ti₅O₁₂ Electrodes Operated Under Hurdle Conditions and SiO₂ Incorporation Effect. *Journal of Power Sources*, 238, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.03.017>.
- Jiantie, X., 2014. Advanced Materials for Lithium-Ion Batteries and Sodium-Ion Batteries, University of Wollongong.
- Kitta, M., Akita, T., Maeda, Y. & Kohyama, M. (2012). Study of Surface Reaction of Spinel Li₄Ti₅O₁₂ during the First Lithium Insertion and Extraction Processes Using Atomic Force Microscopy and Analytical Transmission Electron Microscopy. *Langmuir*, 28:12384-12392. <http://doi.org/10.1021/la301946h>.
- Kuo, Y.C. & Lin, J.Y. (2014). One-Pot Sol-Gel Synthesis of Li₄Ti₅O₁₂/C Anode Materials for High-Performance Li-Ion Batteries. *Electrochim Acta*, 142:43–50, <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.07.103>.

- Liang, J., Bu, L. T., Cao, W. G., Chen, T., & Cao, Y. C. (2016). Facile Fabrication of Coaxial-Cable Like Mn_2O_3 Nanofiber by Electrospinning: Application as Electrode Material for Supercapacitor. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, 584–590. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.06.005>.
- Liu, F., Liang, J., Zhang, C., Yu, L., Zhao, J., Liu, C., Lan, Q., Chen, S., Cao, Y. C., & Zheng, G. (2017). Reduced Graphene Oxide Encapsulated Sulfur Spheres for The Lithium-Sulfur Battery Cathode. *Results in Physics*, 7(December), 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2016.12.049>.
- Lu, W., Belharouak, I., Liu, J., & Amine, K. (2007). Electrochemical and Thermal Investigation of $\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$ Spinel. *Journal of The Electrochemical Society*, 154(2), A114. <https://doi.org/10.1149/1.2402117>.
- Mahmoud, A., Amarilla, J. M. & Saadoun, I. (2015). Effect of Thermal Treatment Used in The Sol-Gel Synthesis of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Spinel on Its Electrochemical Properties as Anode for Lithium Ion Batteries. *Electrochimica*, 163, 213. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.02.111>.
- Murphy, D. W., Cava, R. J., Zahurak, S. M., & Santoro, A. (1983). Ternary Li_xTiO_2 Phases from Insertion Reactions. *Solid State Ionics*, 9–10(PART 1), 413–417. [https://doi.org/10.1016/0167-2738\(83\)90268-0](https://doi.org/10.1016/0167-2738(83)90268-0).
- Nugroho, A., Yoon, D., Chung, K. Y., & Kim, J. (2015). Synthesis of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ /Carbon Nanocomposites in Supercritical Methanol for Anode in Li-Ion Batteries: Effect of Surface Modifiers. *Journal of Supercritical Fluids*, 101, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.03.001>.
- Nureza, A. M. (2017). Analisis Pengaruh Komposisi Glycine Pada Proses Sintesa Anoda Fe_2O_3 Untuk Aplikasi Baterai Ion Lithium. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nuroniah, I., Priyono, S., Subhan, A., Prihandoko, B., Suhandi, A., Sohib, A. (2019). Synthesis and Characterization of Al-Doped $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ with Sol Gel Method for Anode Material Lithium Ion Battery. *Materials Today: Proceedings*, 13:66-70. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.188>.
- Priyono, S., Subhan, A., Triwibowo, J. & Prihandoko, B. 2014. Synthesis And Characterization Of Al-Doped Lithium Titanate $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ As Anode Material For Li-Ion Battery. *The Proceeding of ASEAN Conference on Science and Technology*.
- Priyono, S., Dhika, M. A. & Sebayang, K., (2016) ‘Pembuatan Anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Dan Studi Pengaruh Ketebalan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Ion Lithium’, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(4), pp. 3–9.
- Puranto, P & Cuk, I. (2010). Pengembangan Instrumen Pengkarakterisasi Sensor Elektrokimia Menggunakan Metode Voltametri Siklik, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 28: 20-28.
- Purnama, R. R., Chumaidi, A. & Saleh, A. (2012). Pemanfaatan Limbah Cair CPO Sebagai Perekat Pada Pembuatan Briket dari Arang Tandan Kosong Kelapa Sawit. 3(18):45.

- Ramlan & Bama, A. A. (2011). Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering terhadap Sifat Bahan Porselen untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik). *Jurnal Penelitian Sains*, 3(14): 23.
- Ramlan & Johan, A. (2009). Identifikasi Keramik Na- β '- Al_2O_3 dengan Penambahan Variasi Komposisi (0%, 3% dan 6%) Berat MgO. *Jurnal Penelitian Sains*, 1(12): 4.
- Saka, W. R. M. (2016). Pengaruh Temperatur Hidrotermal Pada Proses Sintesis $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Nanowire Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Ion Lithium. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sari, T. D. (2017). Pengaruh Variasi Binder PVDF, PVA, PTFE Lembaran Anoda LTO ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) Doping $\text{Al}_{0,025}$ Terhadap Performa Sel Baterai Ion Lithium. Indralaya: Universitas Sriwijaya.
- Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, A.H. & Hidayat, S. (2016). Pengaruh Luas Elektroda terhadap Karakteristik Baterai LiFePO_4 . *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 2(6): 46.
- Scharner, S., Weppner, W., & Beermann, P. S. (1999). *Evidence of Two-Phase Formation upon Lithium Insertion into the. 146*(3), 857–861.
- Susana, H. & Astuti, (2016). Pengaruh Konsentrasi LiOH terhadap Sifat Listrik Anoda Baterai Lithium Berbasis Karbon Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Fisika Unand*, 2(5): 138.
- Tang, L., He, Y. B., Wang, C., Wang, S., Wagemaker, M., Li, B., Yang, Q. H., & Kang, F. (2017). High-Density Microporous $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Microbars with Superior Rate Performance for Lithium-Ion Batteries. *Advanced Science*, 4(5), 1–7. <https://doi.org/10.1002/advs.201600311>.
- Triwibowo, J. (2011). Rekayasa Bahan $\text{LiTiMnyFez(PO}_4)_3$ Sebagai Katoda Solid Polimer Baterai (SPB) Lithium. Depok: Universitas Indonesia.
- Utama, T.H., Ramlan dan Subhan, A. (2015). Studi Pengaruh Bahan Aditif Multi Walled Carbonnanotube (MWCNT) dan Acetylene Black (AB) pada Komposit LTO sebagai Bahan Elektroda Untuk Baterai Li-Ion. *Jurnal Penelitian Sains*, vol 17 no 3, pp 143.
- Vijayakumar, M., Kerisit, S., Rosso, K. M., Burton, S. D., Sears, J. A., Yang, Z., Graff, G. L., Liu, J., & Hu, J. (2011). Lithium Diffusion in $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ at High Temperatures. *Journal of Power Sources*, 196(4), 2211–2220. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.09.060>.
- Wilgayanti, E ,M. (2017). Preparasi dan Karakterisasi Struktur Kristal $\text{Li}_{(1+x)}\text{Mn}_2\text{O}_4$. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian*, 11, 2.
- Wu, H. (2013). Can Evidence-Based Medicine Change Toilet-Training Practice? *Arab Journal of Urology*, 11(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.aju.2012.11.001>.
- Yao, Z., Xia, X., Zhou, C. A., Zhong, Y., Wang, Y., Deng, S., Wang, W., Wang, X., & Tu, J. (2018). Smart Construction of Integrated CNTs/ $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Core/Shell Arrays with Superior High-Rate Performance for Application in Lithium-Ion Batteries. *Advanced Science*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/advs.201700786>.

- Yara, A. W., (2017). Efek konsentrasi NH_4OH pada Sintesis Nanopartikel MgFe_2O_4 dengan Metode Kopresipitasi. [Skripsi]. Medan. Universitas Sumatera Utara, Program Sarjana.
- Yuan, T., Tan, Z., Ma, C., Yang, J., Ma, Z. F., & Zheng, S. (2017). Challenges of Spinel $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ for Lithium-Ion Battery Industrial Applications. *Advanced Energy Materials*, 7(12). <https://doi.org/10.1002/aenm.201601625>.
- Yuniati, S. (2020). Sintesis $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Doping Al dengan Metode Sol Gel untuk Anoda Baterai Ion Lithium. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Zhang, C., Zhang, Y., Wang, J., Wang, D., He, D. & Xia, Y. (2013). $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Prepared by A Modified Citric Acid Sol-Gel Method for Lithium-Ion Battery. *Journal of Power Sources*, 236, 118-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.01.135>.
- Zhao, B., Deng, X., Ran, R., Liu, M., & Shao, Z. (2016). Facile Synthesis of a 3D Nanoarchitected $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Electrode for Ultrafast Energy Storage. *Advanced Energy Materials*, 6(4), 1–11. <https://doi.org/10.1002/aenm.201500924>
- Zhao, B., Ran, R., Liu, M., & Shao, Z. (2015). A Comprehensive Review of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ -Based Electrodes for Lithium-Ion Batteries: The Latest Advancements and Future Perspectives. 98, 1–71.
- Zhao, H., Li, Y., Zhu, Z., Lin, J., Tian, Z., & Wang, R. (2008). *Electrochimica Acta Structural and Electrochemical Characteristics of $\text{Li}_{4-x}\text{Al}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ as Anode Material for Lithium-Ion Batteries*. 53, 7079–7083. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.05.038>