

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SULFUR PADA
SINTESIS KATODA SULFUR/MnO₂ TERHADAP
PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI LITIMUM SULFUR**

MILA FATIKAH SARI
NRP. 02511840000026

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim S.T., M.Sc (Eng).,Ph.D
NIP. 19770313 200312 1 001

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
NIP. 19890213 202012 2 016

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



TUGAS AKHIR - TL184834

**ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SULFUR PADA
SINTESIS KATODA SULFUR/MnO₂ TERHADAP
PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI LITIUUM SULFUR**

MILA FATIKAH SARI
NRP. 02511840000026

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng).,Ph.D.
NIP. 19770313 200312 1 001

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
NIP. 19890213 202012 2 016

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 SULFUR PARTICLE SIZE
ON THE SULFUR/MnO₂ CATHODES ON
ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LITHIUM-
SULFUR BATTERIES**

Mila Fatikah Sari
NRP. 02511840000026

Advisor
Lukman Noerochim S.T.,M.Sc(Eng).,Ph.D.
NIP. 19770313 200312 1 001

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
NIP. 19890213 202012 2 016

Study Program of Materials Engineering
Departement 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 UKURAN PARTIKEL SULFUR PADA SINTESIS KATODA SULFUR/MnO₂ TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI LITUM SULFUR


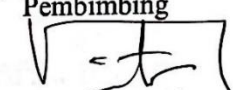
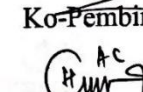
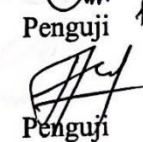
TUGAS AKHIR

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 : **MILA FATIKAH SARI**
NRP. 0251184000026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D.
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
3. Haniffudin Nurdiansyah, S.T., M.T.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D


Pembimbing

Ko-Pembimbing

Penguji

Penguji



SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF SULFUR PARTICLE SIZE ON THE
SULFUR/MnO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF
LITHIUM-SULFUR BATTERIES**

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 : **MILA FATIKAH SARI**
NRP. 0251184000026

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D.
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
3. Haniffudin Nurdiansyah, S.T., M.T.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.


Advisor

Co-Advisor


Examiner


Examiner



SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS


Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Mila Fatikah Sari/025811840000026
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D. / 19770313
200312 1 001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Ukuran Partikel Sulfur pada Sintesis Katoda Sulfur/MnO₂ terhadap Performa Elektrokimia Baterai Litium Sulfur**” 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.

Mengetahui
Dosen Pembimbing


(Lukman Noerochim S.T.,M.Sc.,Ph.D.)
NIP. 19770313 200312 1 001

Surabaya, 20 Juli 2022

Mahasiswa


(Mila Fatikah Sari)
NRP. 02511840000026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

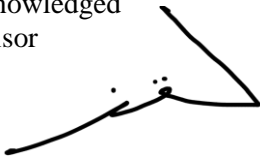
Name of student/NRP : Mila Fatikah Sari/02511840000026
Departement : Material and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D. / 19770313
200312 1 001

Hereby declare that the Final Project with the title of **ANALYSIS OF THE EFFECT OF SULFUR PARTICLE SIZE ON THE SULFUR/MnO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LITHIUM-SULFUR BATTERIES** 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, 20 Juli 2022

Acknowledged
Advisor



(Lukman Noerochim, S.T., S.Sc., Ph.D)
NIP. 19770313 200312 1 001

Student



(Mila Fatikah Sari)
NRP. 02511840000026

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur disampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Ukuran Partikel Sulfur pada Sintesis Katoda Sulfur/MnO₂ terhadap Performa Elektrokimia Baterai Litium Sulfur**” dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Mokhammad Makhlis dan Herlina serta kakak penulis Meidiana Hermawati yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk kelancaran penelitian ini.
2. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D. serta Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan kesempatan, dukungan, serta ilmu dalam bimbingan hingga dapat terselesaikan Tugas Akhir ini.
3. Segenap Bapak Ibu Dosen serta staf Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Yang telah memberikan ilmu dan membantu kelancaran pengerjaan Tugas Akhir.
4. Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam dan Rikza Octavian sebagai teman satu topik penulis dalam Tugas Akhir ini yang telah membantu, memberikan dukungan serta bekerja sama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Alvan Alfaridzi, Elsanti Anggraini, dan Salamullah Abdul Hadi sebagai teman tugas akhir topik baterai yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Zevita Praja Tsalas Tirtana sebagai pacar, sahabat serta orang yang menemani saya yang telah memberikan masukan, mendukung, serta mendengarkan curhatan penulis
7. Dita Dianasari, Finny Alifatur Rosyidah, Risa Wahyu Widyastuti, Miftakhur Rizqiyah, Serly Hardianti, serta teman-teman penulis yang telah membantu, memberikan dukungan dan selalu mendengarkan curahan hati penulis.
8. Keluarga besar Teknik Material angkatan 2018 yang telah membantu, memberikan dukungan dan memberikan banyak kenangan saat perkuliahan penulis
9. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga terselesaikan tugas akhir ini

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SULFUR PADA SINTESIS KATODA SULFUR/MnO₂ TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI LITIUM SULFUR

Nama Mahasiswa / NRP : Mila Fatikah Sari/0251184000026
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Lukman Noerochim S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstrak

Saat ini, energi listrik merupakan komponen penting yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu energi listrik yang digunakan dalam sehari-hari adalah baterai. Inovasi pada baterai dengan sulfur sebagai katoda dan anoda litium atau biasa disebut sebagai Lithium Sulfur Batteries (LSB). LSB memiliki kepadatan energi setinggi 2600 Wh/kg. lima kali lebih tinggi dari LIB komersial. Dalam penelitian ini, katoda pada LSB dimodifikasi dengan cara dilapisi dengan MnO₂ untuk meningkatkan konduktivitas dari LSB. Katoda dengan ukuran partikel yang berbeda juga memiliki performa elektrokimia yang berbeda. Tujuan penelitian kali ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap katoda sulfur/MnO₂ dengan variasi ukuran 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh. Prosedur pada penelitian ini yaitu sulfur yang telah disonikasi, dicampur dengan KMnO₄ pada temperatur 60°C selama 24 jam kemudian disaring dan di oven pada temperatur 60°C selama 24 jam. Hasilnya, Sulfur/MnO₂ yang terbentuk dianalisis karakterisasi dengan pengujian PSA, XRD, dan SEM serta performa elektrokimianya pada baterai Li-S dengan pengujian CV, EIS dan GCD. Hasil pengujian pada penelitian ini didapatkan sulfur/MnO₂ yang memiliki struktur kristal ortorombik dengan crystallite size terkecil pada variasi sulfur/MnO₂ 325 mesh sebesar 88.6 nm. Hasil pengujian performa elektrokimia didapatkan bahwa sulfur/MnO₂ variasi 325 mesh memiliki performa elektrokimia terbaik dengan nilai resistansi transfer muatan yang rendah sebesar 460.62 ohm, konduktivitas sebesar $6.15 \times 10^{-3} \Omega^{-1}m^{-1}$ serta kapasitas spesifik charge dan discharge sebesar 44.864 mAh/g dan 43.262 mAh/g. Sehingga, katoda sulfur/MnO₂ variasi 325 mesh layak menjadi kandidat katoda baterai litium sulfur

Kata Kunci: Baterai, Katoda, Mangan Dioksida, Lithium-Sulfur, Ukuran Partikel

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SULFUR PARTICLE SIZE ON THE SULFUR/ MnO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LITHIUM- SULFUR BATTERIES

Student Name / NRP : Mila Fatikah Sari / 02511840000026
Departement : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Advisor 1 : Lukman Noerochim S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D.
Advisor 2 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstract

Currently, electrical energy is an important component used in everyday life. One of the electrical energy used in everyday life is a battery. Innovation in batteries with sulfur as cathode and lithium anode or commonly referred to as Lithium Sulfur Batteries (LSB). LSBs have energy densities as high as 2600 Wh/kg. five times higher than commercial LIB. In this study, the cathode of the LSB was modified by coating with MnO₂ to increase the conductivity of the LSB. Cathodes with different particle sizes also have different electrochemical performances. The purpose of this study was to determine the effect of particle size on sulfur/MnO₂ cathode with various sizes of 100 mesh, 200 mesh and 325 mesh. The procedure in this research is sulfur that has been sonicated, mixed with KMnO₄ at a temperature of 60°C for 24 hours, then filtered and in an oven at a temperature of 60°C for 24 hours. As a result, the Sulfur MnO₂ formed was analyzed for characterization by testing PSA, XRD, and SEM as well as its electrochemical performance on Li-S batteries by testing CV, EIS and GCD. The test results in this study obtained sulfur/MnO₂ which has an orthorhombic crystal structure with the smallest crystallite size at a variation of sulfur/MnO₂ 325 mesh of 88.6 nm. The results of the electrochemical performance test showed that the sulfur/MnO₂ variation of 325 mesh had the best electrochemical performance with a low resistance charge transfer value of 460.62 Ω, a conductivity of $6.15 \times 10^{-3} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ and a specific charge and discharge capacity of 44,864 mAh/g and 43,262. mAh/g. Thus, the 325 mesh sulfur/MnO₂ cathode is a suitable candidate for lithium sulfur battery cathode

Keywords: *Batteries, Cathode, Mangan Dioxide, Lithium-Sulfur, Particle Sizes*

(This page is intentionally blank)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
Abstrak	iii
Abstract	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
1 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Baterai	3
2.2 Baterai Litium	4
2.2.1 Jenis-Jenis Baterai Lithium	4
2.3 Baterai Litium Sulfur	5
2.3.1 Anoda Litium pada Baterai Litium Sulfur	6
2.3.2 Katoda Sulfur pada Baterai Litium Sulfur	7
2.4 Mangan Dioksida	7
2.4.1 <i>Pyrolussite</i> (β - MnO_2)	8
2.4.2 <i>Hollandite</i> (α - MnO_2)	8
2.4.3 <i>Birnessite</i> (δ - MnO_2)	9
2.5 Ukuran Partikel	9
2.6 Penelitian Sebelumnya	10
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Diagram Alir	11
3.2 Bahan Penelitian	13
3.3 Alat Penelitian	19
3.4 Metode Penelitian	25
3.4.1 Sintesis Katoda Sulfur/ MnO_2	25
3.4.2 Proses Pencucian dengan Toluena	26
3.4.3 Proses <i>Assembly</i> Baterai Litium Sulfur	26
3.5 Pengujian Morfologi <i>Scanning Electron Microscopy</i>	26
3.6 Pengujian Fasa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	27
3.7 Pengujian <i>Galvanic Charge and Discharge</i> (GCD)	28
3.8 Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	29
3.9 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	30
3.10 Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	30
3.11 Rancangan Penelitian	31
4 BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Analisis Pengujian Karakterisasi	33
4.1.1 Hasil Karakterisasi <i>Particle Size Analyzer</i> Sulfur 100, 200 dan 325 mesh	33
4.1.2 Hasil Karakterisasi <i>X-ray Diffraction</i> Sulfur/ MnO_2	35
4.1.3 Hasil Karakterisasi Morfologi <i>Scanning Electron Microscopy</i>	37
4.2 Hasil Analisis Pengujian Performa Elektrokimia	38
4.2.1 Hasil Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i>	38

4.2.2 Hasil Pengujian <i>Galvanic Charge-Discharge</i>	41
4.2.3 Hasil Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	44
5	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	53
UCAPAN TERIMA KASIH	73
BIODATA PENULIS.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Elektrokimia dari Baterai Litium.(Balasubramaniam et al., 2020)	3
Gambar 2.2	Skema Baterai Primer <i>ZinC Oxide Battery</i>	3
Gambar 2.3	Skema Elektrokimia dari Baterai Sekunder <i>Li ion Battery</i>	4
Gambar 2.4	Skema Elektrokimia dari Baterai Litium Sulfur.(Y. Chen et al., 2021).....	6
Gambar 2.5	Proses Pembentukan Dendrit Li(H. Zhao et al., 2018).....	7
Gambar 2.6	Struktur <i>Pyrolussite</i> (Tang et al., 2018)	8
Gambar 2.7	Struktur <i>Hollandite</i> (Tang et al., 2018)dan Gambar SEM <i>Hollandite</i> (Ge et al., 2020)	8
Gambar 2.8	Struktur <i>Birnessite</i> (Tang et al., 2018) dan Gambar SEM <i>Birnessite</i> (Ge et al., 2020)	9
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengujian Karakteristik Sulfur	11
Gambar 3.2	Diagram Alir Pengujian Karakteristik Sulfur/MnO ₂	12
Gambar 3.3	Diagram Alir Pengujian Performa Elektrokimia.....	13
Gambar 3.4	Kalium Permanganat (KMnO ₄) <i>Ras Chemical</i>	14
Gambar 3.5	Sulfur dengan Ukuran 325 Mesh (49 μm)	14
Gambar 3.6	Deionisai Water <i>Onemed</i> Indonesia.....	14
Gambar 3.7	Toluena Sumber Ilmiah Persada	15
Gambar 3.8	Kertas Filter U.D. Sukoharjo	15
Gambar 3.9	<i>Polyvinylidene fluoride</i> (PVDF)	16
Gambar 3.10	<i>Carbon Black</i>	16
Gambar 3.11	Separator	16
Gambar 3.12	Elektrolit LiTFSi Untuk Baterai Litium Sulfur.....	17
Gambar 3.13	Logam Litium	17
Gambar 3.14	Aluminium Foil.....	18
Gambar 3.15	<i>Lithium Coin Cell</i>	18
Gambar 3.16	Larutan <i>N-Methyl-Pyrrolidone</i> (NMP)	19
Gambar 3.17	Gas Argon	19
Gambar 3.18	Neraca Analitik	20
Gambar 3.19	Kaca Arloji	20
Gambar 3.20	Gelas Beker	21
Gambar 3.21	Oven	21
Gambar 3.22	<i>Hot Plate Magnetic Stirrer</i>	21
Gambar 3.23	<i>Ultrasonic Cleaner</i>	22
Gambar 3.24	Gelas Labu	22
Gambar 3.25	Gelas Corong.....	22
Gambar 3.26	<i>Glove Box</i>	23
Gambar 3.27	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	23
Gambar 3.28	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	23
Gambar 3.29	<i>Galvanostatic Charge-Discharge</i> (GCD)	24
Gambar 3.30	<i>Cyclic Voltrammetic</i> (CV).....	24
Gambar 3.31	Alat Pengujian <i>Particle Size Analysis</i>	24
Gambar 3.32	Proses Sonikasi pada Sulfur	25
Gambar 3.33	Proses Pencampuran Sulfur dan MnO ₂	26
Gambar 3.34	Proses Penyaringan Campuran Sulfur/MnO ₂ dan Toluena	26
Gambar 3.35	Skema Pengujian SEM(Sujatno et al., 2015)	27
Gambar 3.36	Skema Pengujian XRD(Scalbert et al., 2015)	28
Gambar 3.37	Hasil Grafik GCD pada Baterai LiS(D et al., 2022b).....	28

Gambar 3.38	Hasil Grafik Uji CV pada Baterai LiS(Qin et al., 2014).....	29
Gambar 3.39	Hasil Grafik Uji EIS pada Baterai LiS (Qin et al., 2014).....	30
Gambar 3.40	Skema Pengujian PSA(Neng Yulia Ningsih, 2013).....	31
Gambar 4.1	Hasil Distribusi Partikel Sulfur 100 Mesh	33
Gambar 4.2	Hasil Distribusi Partikel Sulfur 200 Mesh	33
Gambar 4.3	Hasil Distribusi Partikel Sulfur 325 Mesh	34
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Karakterisasi PSA pada Sampel Sulfur	34
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Karakterisasi XRD pada Sampel Sulfur / MnO ₂	35
Gambar 4.3	Hasil Pengujian XRD pada Sampel Sulfur/MnO ₂ 325 Mesh.....	35
Gambar 4.4	Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (a) S/MnO ₂ 100 mesh (b) S/MnO ₂ 200 mesh dan (c) S/MnO ₂ 325 mesh	37
Gambar 4.5	Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 100 mesh, Sulfur/MnO ₂ 200 mesh dan Sulfur/MnO ₂ 325 mesh	38
Gambar 4.6	Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 100 mesh.....	39
Gambar 4.7	Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 200 mesh.....	40
Gambar 4.8	Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 325 mesh.....	41
Gambar 4.9	Hasil Pengujian GCD di <i>Cycle 2</i> pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 100 mesh, Sulfur/MnO ₂ 200 mesh dan Sulfur/MnO ₂ 325 mesh.....	42
Gambar 4.10	Grafik Pengujian GCD pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 100 mesh.....	42
Gambar 4.11	Grafik Pengujian GCD pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 200 mesh.....	43
Gambar 4.12	Grafik Pengujian GCD pada Variasi Sulfur/MnO ₂ 325 mesh.....	43
Gambar 4.13	Grafik Hasil Pengujian EIS pada Sulfur/MnO ₂ dengan variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh	44
Gambar 4.14	Hasil Pengujian EIS serta <i>Equivalent Circuit</i> (a) 100 mesh (b) 200 mesh dan (c) 325 mesh	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Katoda Sulfur dan logam transisi(Jin et al., 2014)	7
Tabel 2.2 Tabel Konversi Ukuran Mesh Mikron.....	10
Tabel 3.1 Tabel Pengujian Sintesis Katoda Sulfur/MnO ₂	31
Tabel 3.2 Jadwal Pengujian Sintesis Katoda Sulfur/MnO ₂	31
Tabel 4.1 Tabel Perhitungan Ukuran kristal pada Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh	36
Tabel 4.2 Tabel Perhitungan Parameter Kisi pada Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh	36
Tabel 4.3 Nilai Intensitas Puncak Voltase dan Arus pada Spesimen Sulfur/MnO ₂ 100 Mesh	39
Tabel 4.4 Nilai Intensitas Puncak Voltase dan Arus pada Spesimen Sulfur/MnO ₂ 200 Mesh	40
Tabel 4.5 Nilai Intensitas Puncak Voltase dan Arus pada Spesimen Sulfur/MnO ₂ 100 Mesh	41
Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Kapasitas dan <i>Capacity Loss</i> Sulfur/MnO ₂ Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh.....	44
Tabel 4.7 Tabel Perbandingan Rs dan Rct pada Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh	45

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, energi listrik merupakan komponen penting yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Kebutuhan listrik di Indonesia sendiri dari Badan Pusat Statistika, konsumsi listrik per kapita di Indonesia sebesar 1,09 MWH/Kapita (Badan Pusat Statistika, 2020). Kapasitas pembangkit listrik pada 2021 mencapai 11.157 MW, lebih besar 665 MW pada tahun 2020 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). Energi listrik diperlukan banyak sektor, contoh pada rumah tangga, listrik digunakan untuk menyetrika baju, memasak nasi, penerangan dan masih banyak lagi. Bahkan listrik juga digunakan dalam sektor kesehatan untuk rontgen, *CT-scan*, elektrokardiogram dan masih banyak lagi (Nevy & Widya Citra Andini, 2022).

Energi listrik dapat didapatkan dari baterai. Baterai merupakan sumber energi yang merubah energi kimia menjadi energi listrik. Saat ini, perkembangan baterai sangat pesat. Salah satu jenisnya adalah baterai sekunder karena dapat digunakan kembali jika habis energi listriknya. Baterai litium merupakan baterai yang paling umum digunakan pada baterai sekunder. Hal ini dikarenakan siklusnya yang panjang, kepadatan daya yang tinggi serta *self-discharged* yang rendah (Khasan et al., 2021). Karena hal itu, Pemerintah Indonesia berambisi mengembangkan baterai lithium-ion terbesar di dunia. *Lithium-ion batteries* (LIBs) menunjukkan siklus hidup yang panjang, tegangan kerja dan kepadatan energi yang tinggi, *self-discharge* yang rendah, dan kinerja keselamatan yang baik. Namun LIBs cenderung mahal dan memiliki kepadatan energi teoritis yang terbatas. Penggunaan LIBs dalam aplikasi yang membutuhkan baterai berkapasitas tinggi sangat dibutuhkan, sehingga memerlukan pengembangan yang lebih maju (Y. Li et al., 2021).

Inovasi baterai dengan Sulfur sebagai katoda yang biasa disebut sebagai Lithium Sulfur Batteries (LSB) dinilai mampu menawarkan peningkatan substansial dalam kepadatan energi gravimetri, energi dengan densitas tinggi, mampu mengurangi biaya produksi dan meningkatkan prospek keselamatan (Q. Li et al., 2020a). LSB menyimpan dan mentransfer energi melalui reaksi elektrokimia reversibel antara litium dan sulfur. Kepadatan energi teoritis unsur Sulfur setinggi 2600 Wh kg^{-1} , yang lima kali lebih tinggi dari LIB komersial, dan kapasitas spesifik teoritisnya setinggi 1675 mAh g^{-1} (Y. Li et al., 2021). Namun baterai *lithium-sulfur* memiliki beberapa kelemahan seperti sifat isolasi sulfur hanya $5 \times 10^{-30} \text{ S cm cm}^{-1}$ pada temperatur kamar, serta adanya pembubaran *lithium polysulfides* (Lee et al., 2015).

Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis menggunakan oksida logam seperti TiO_2 , SiO_2 , dan MnO_2 karena mampu memberikan kerapatan elektroda yang lebih tinggi daripada bahan karbon serta difusi Li. Oksida ini tidak dapat mengandung litium secara elektrokimia, namun menunjukkan karakteristik isolasi tradisional dari oksida anorganik (Lee et al., 2015). Li, et al (2020) telah menggunakan presipitasi sederhana untuk mengembangkan bahan katoda belerang yang ditingkatkan dengan struktur cangkang inti yang terdiri dari nanosfer belerang di lapisan dalam dan *ultrathin MnO₂ nanosheet* di *shell* (Q. Li et al., 2020b). Hasilnya MnO_2 *shell* dapat digunakan sebagai lapisan katalis untuk meningkatkan adsorpsi dan konversi S dan Li_2S selama pengisian dan pemakaian (Y. Li et al., 2021).

Selain itu, pada penelitian sebelumnya yang menggunakan Cu_2O sebagai katoda dengan ukuran partikel yang semakin kecil performa elektrokimianya semakin baik. Penelitian yang dilakukan oleh Grugeon, et al (2001) didapatkan bahwa 2 sampel Cu_2O monodispersi dengan ukuran $\pm 0,15 \mu\text{m}$ (sampel A) dan $\pm 1 \mu\text{m}$ (sampel B) memiliki kurva komposisi tegangan yang hampir sama. Selama *first discharge*, rentang tegangan slop yang dihasilkan dari kedua

sampel berbeda. Pada sampel A didapatkan tegangan slop sebesar 1,4 hingga 1 V dan sampel B sebesar 1 hingga 0,02 V. Perbedaan signifikan dari kedua sampel terdapat pada *capacity retention* yang bergantung pada *cycling rates* baterai. Saat rentang *cycling rates* C/2 hingga C/10, sampel B lebih mampu mempertahankan kapasitas hingga lebih dari 70 *cycles* dengan fluktuasi kurang dari 10%. Sedangkan pada sampel A kapasitasnya terus menurun hingga mencapai 200 mAh/g pada siklus ke 50 (Grugeon et al., 2001).

Penelitian yang dilakukan Liang, et al (2016) dengan ukuran material sulfur sebesar 300-400 *mesh* (37-50 μm) didapatkan kapasitas baterai litium sulfur 1200 mAh dan terus menurun hingga siklus ke 280. Akan tetapi, baterai litium sulfur yang dicuci dengan larutan toluena memiliki performa siklus yang lebih baik dengan kapasitas retensi lebih dari 98% (Liang & Nazar, 2016). Sehingga pada penelitian ini digunakan variasi ukuran partikel sulfur yang diharapkan mampu mengetahui perbedaan pengaruh ukuran partikel terhadap konduktivitas pada baterai litium sulfur. Pengaruh *coating* MnO_2 juga terlihat pada penelitian yang dilakukan oleh Peng et al (2020) didapatkan bahwa katoda baterai sulfur yang diberi MnO_2 memiliki performa elektrokimia yang lebih baik. Setelah pengujian didapatkan bahwa kapasitas *discharge* sebesar 856 mAh/g pada *cycle* 200 dengan 0,2C (Peng et al., 2021).

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh ukuran partikel dan pelapisan dengan MnO_2 Sulfur sebagai katoda baterai litium sulfur terhadap performa baterai litium sulfur, maka pada penelitian ini digunakan variasi ukuran partikel untuk menganalisis bagaimana pengaruh ukuran partikel terhadap performa baterai litium sulfur yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengurangi penyimpangan selama penelitian dilakukan, maka ditentukan batasan masalah pada penelitian adalah komposisi sulfur dan KMnO_4 yang digunakan diasumsikan tanpa pengotor serta pengaruh pengurangan berat selama sintesis dan pelapisan diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh ukuran partikel Sulfur dan pengaruh pelapisan MnO_2 sebagai katoda baterai litium sulfur pada performa baterai litium sulfur yang dihasilkan.

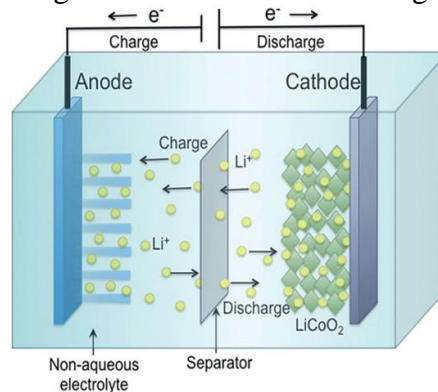
1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat untuk memberikan informasi mengenai pengaruh ukuran partikel terhadap kapasitas dan cycle dari katoda sulfur/ MnO_2 pada baterai litium sulfur.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

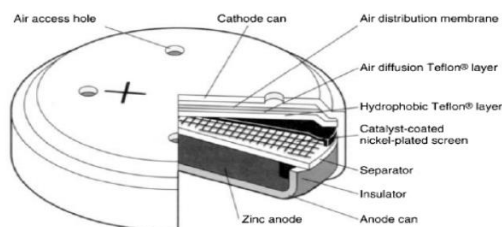
Baterai merupakan alat atau perangkat yang mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan aktifnya secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi oksidasi-reduksi (redoks) elektrokimia (Linden & Reddy, 2002). Reaksi reduksi merupakan reaksi penambahan elektron dan bilangan oksidasi menurun. Sedangkan, reaksi oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron dan penambahan bilangan oksidasi (Satriady et al., 2016). Reaksi elektrokimia terdiri pada elektroda baterai. Elektroda dibagi menjadi dua yaitu elektroda positif yang biasanya disebut dengan katoda dan elektroda negatif atau anoda (Perdana, 2021).



Gambar 2.1 Skema Elektrokimia dari Baterai Litium. (Balasubramaniam et al., 2020)

Baterai juga disebut sebagai alat penyimpanan yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Penggunaan baterai dapat ditemukan di peralatan elektronik yang sering kita gunakan, seperti telepon genggam, laptop, radio, jam digital dan lain sebagainya. Hal ini dikarenakan baterai bekerja secara efisien, bahan baku yang murah dan mudah diperoleh, ekonomis serta ramah lingkungan (Pangestica Saputry et al., 2019). Dalam aplikasinya, baterai memiliki dua prinsip kerja sesuai dengan penggunaannya (Linden & Reddy, 2002):

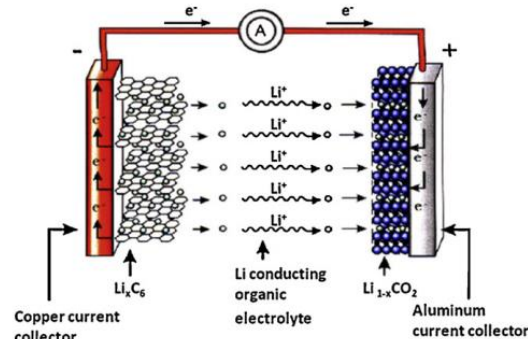
1. Baterai primer merupakan baterai yang menyimpan energi listrik untuk digunakan hingga habis kemudian dibuang. Proses utama dari baterai ini adalah proses *discharge* (Winter & Brodd, 2004). Pada baterai primer, elektrolit yang digunakan merupakan bahan penyerap atau pemisah dimana bahan tersebut tidak ada elektrolit bebas atau cair yang biasanya disebut sel kering. Baterai ini memiliki kelebihan yaitu murah, ringan, memiliki umur simpan yang baik dan penggunaan yang mudah. Biasanya, baterai primer berbentuk silinder (Linden & Reddy, 2002).



Gambar 2.2 Skema Baterai Primer Zn/C Oksida Battery (Linden & Reddy, 2002)

2. Baterai sekunder merupakan baterai yang menyimpan energi dimana ketika energi listrik habis dapat dikembalikan ke aslinya. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik yang masuk dengan arah yang berlawanan dengan aliran arus

ketika dikeluarkan. Biasanya, baterai sekunder disebut dengan baterai *charge* (Winter & Brodd, 2004). Baterai sekunder juga memiliki karakteristik *high power density*, *high discharge rate*, *flat discharge curve* dan performanya bagus ketika di temperatur rendah jika dibandingkan dengan baterai primer (Linden & Reddy, 2002).



Gambar 2.3 Skema Elektrokimia dari Baterai Sekunder *Li ion Battery* (Winter & Brodd, 2004)

2.2 Baterai Litium

Logam lithium selama 2 dekade ini sering digunakan sebagai material anoda baterai. hal ini dikarenakan lithium memiliki sifat yang ringan, tegangan tinggi, konduktivitas elektrokimia yang tinggi dan konduktivitas yang baik (Linden & Reddy, 2002). Sifat-sifat tersebut menguntungkan jika digunakan pada baterai sekunder ketimbang baterai primer. hal ini dikarenakan temperatur lingkungan tidak memiliki kapabilitas tingkat tinggi (*Lithium Battery*, n.d.).

Baterai litium terdiri dari lapisan elektroda positif, lapisan elektroda negatif dan lapisan elektrolit yang memediasi konduksi ion litium antara elektroda positif dan negatif. elektrolit yang digunakan bukan elektrolit organik, karena tidak bisa menghantarkan ion litium antara elektroda positif dan elektroda negatif (*Lithium Battery*, n.d.). Baterai litium memiliki beberapa keuntungan dari baterai konvensional yaitu voltase tinggi, energi spesifik tinggi serta densitas tinggi (Linden & Reddy, 2002).

2.2.1 Jenis-Jenis Baterai Litium

Baterai litium memiliki beberapa jenis seperti baterai litium metal, baterai litium ion, baterai litium ion polimer, baterai litium oksigen dan baterai litium sulfur. Baterai-baterai tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan kebutuhan.

1. Baterai Litium Metal

Baterai litium metal memiliki kapasitas sebesar 3860 mAh/gram dan densitas 0.59 gram/cm³. Litium metal baterai merupakan baterai sekunder dan telah diteliti lebih dari 40 tahun. Baterai litium metal memiliki dua hambatan utama yaitu pertumbuhan dendrit Li saat pengisian atau pengosongan saat proses *charge/discharge* serta efisiensi Coulombic yang rendah dari proses-proses ini (Xu et al., 2014). Biasanya katoda yang digunakan untuk baterai ini adalah LiFePO₄, LCP, dan LCO. Elektrolit yang digunakan adalah LiPF₆ (Ghazi et al., 2019). Baterai ini sering digunakan pada baterai primer (Afif et al., 2015).

2. Baterai Litium Ion

Baterai litium-ion sering disebut dengan Li-ion atau LIB. Pada baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif menuju ke elektroda positif saat dilepaskan (Afif et al., 2015). Beberapa jenis baterai litium ion adalah NCA, NCM, dan LFP (Khasan et al., 2021). Baterai litium ion biasanya berjenis baterai sekunder. Baterai ini memiliki kelebihan dibanding baterai lain, seperti beda potensial tinggi, densitas energi tinggi serta kapasitas spesifik tinggi

dan *lifecycle* panjang(D et al., 2022a). Pada baterai litium ion jenis NCA yang di-*doping* dengan Ti untuk meningkatkan sifat elektrokimianya, ditunjukkan kapasitas *discharge* baterai NCA yaitu 179,6 mAh/gram setelah siklus pertama dengan efisiensi coulombik awal 88,6%(Khasan et al., 2021).

3. Baterai Litium Ion Polimer

Baterai ini mirip dengan baterai litium ion. Akan tetapi, elektrolit yang digunakan berupa polimer kering yang berbentuk lapisan film tipis. Elektrolit ini disusun berlapis-lapis di antara anoda dan katoda, sehingga terjadi pertukaran ion. Tetapi, baterai ini memiliki kekurangan yaitu aliran pertukaran ion yang terjadi pada elektrolit lemah. Sehingga, proses *charging* dan *discharging* mengalami penurunan. Kekurangan ini dapat diatasi dengan memanaskan baterai, namun metode ini dianggap tidak dapat diaplikasikan di kehidupan sehari-hari. (jenis baterai). Pada baterai litium ion polimer yang terbentuk dari $\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$ dengan elektrolit LiFePO_4 yang dikombinasikan dengan PVdF dihasilkan kapasitas sebesar 160 mAh/gram pada *cycle* 32(Reale et al., 2004).

4. All-Solid-State Batteries

Baterai *all-solid-state* banyak digunakan pada alat pacu jantung. Jenis yang sering dipakai adalah anoda litium dengan katoda *iodine-polyvinylpyridine*. Elektrolit litium iodida yang terbentuk selama pelepasan sel memiliki konduktivitas ionik relatif rendah. Akan tetapi, arus rendah ini dapat diaplikasikan dan kepadatan energi volumetrik yang tinggi ini menguntungkan(Hooper & Tofield, 1984). Beberapa contoh baterai *all-solid-state* antara lain NASICON, garnet, perovskite, LISICON dan argyrodite. Pada LSP yang di-*doping* dengan aluminium memiliki konduktivitas yang cukup tinggi dan memiliki peluang sekitar 2,17 hingga 4,21 V(Khasan et al., 2021).

5. Baterai Litium Sulfur

Saat ini, litium sulfur banyak dilakukan penelitian. Hal ini dikarenakan litium sulfur memiliki energi spesifik yang baik, harga yang murah dan kepadatan energi yang tinggi. Pada sebuah penelitian didapatkan perbedaan potensial antara pengisian dan pelepasan pada baterai litium sulfur(Afif et al., 2015). Kapasitas debit setelah siklus ke 30 sekitar 200 mAh/gram dan kehilangan kapasitas setelahnya hingga 60%. Tegangan pada baterai litium sulfur pada arus konstan diperoleh sekitar 2,35 Volt(Khasan et al., 2021)

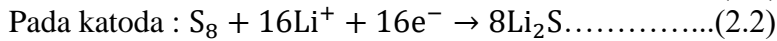
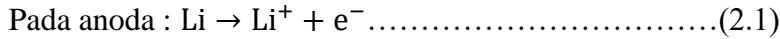
2.3 Baterai Litium Sulfur

Sulfur merupakan material yang murah dan ramah lingkungan. selain itu, sulfur juga memiliki kapasitas teoritis 1672 mAh/g dan energi spesifik 2600 Wh/kg(Y. Zhao et al., 2012). Kepadatan energi yang tinggi ini mengakibatkan waktu pengoperasian baterai lebih lama dibandingkan dengan ukuran baterai(Khasan et al., 2021). Secara umum, sulfur mengandung panduan yang konduktif seperti karbon. hal ini memungkinkan terjadinya proses elektrokimia. Sulfur juga memiliki kelebihan lain seperti murah, mudah ditemukan dan ramah lingkungan karena berasal dari alam. Tetapi, sulfur juga memiliki kekurangan sebagai katoda karena tidak efisien dan kemampuan daur ulang yang kurang baik(Y. Zhao et al., 2012).

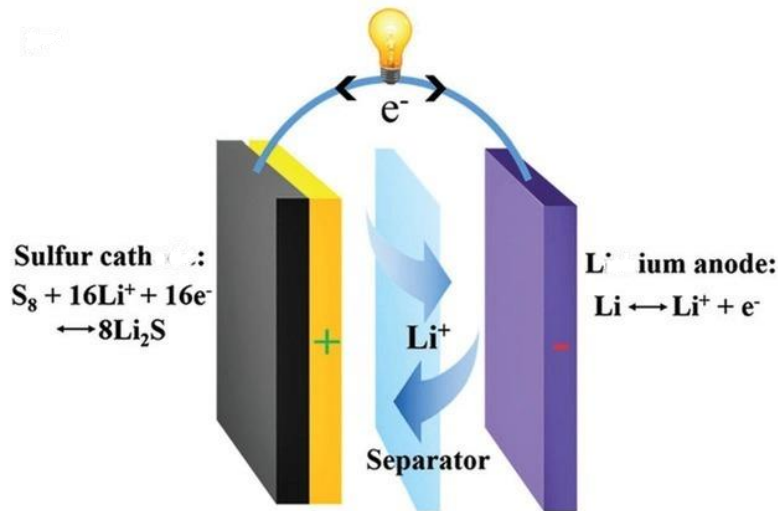
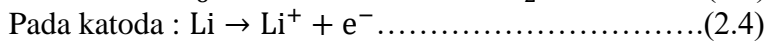
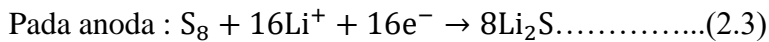
Baterai litium sulfur biasanya terdiri dari katoda sulfur dengan anoda litium dan pemisah berpori dengan elektrolit cair diantaranya. Berbeda dengan proses pada baterai *Li-ion*, baterai litium sulfur dimulai dengan proses *discharge* karena sulfur pada katoda mengalami keadaan teroksidasi(Borchardt et al., 2016). Baterai litium sulfur bekerja dengan reaksi redoks yang dapat dibalik antara litium dengan S_8 . Selama *discharge*, logam litium di anoda dioksidasi sehingga ion litium dan elektron dilepaskan dan melewati elektrolit. Ion ini

melewati sirkuit eksternal di sisi-sisi katoda sulfur. Pada katoda, sulfur direduksi dan menghasilkan litium sulfida dengan menerima ion litium dan elektron yang dihasilkan anoda. Pada proses *charge* reaksi yang terjadi dibalik(Y. Chen et al., 2021). Dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.

Reaksi yang terjadi pada baterai litium sulfur pada proses *discharge* :



Reaksi yang terjadi pada baterai litium sulfur pada proses *charge* :



Gambar 2.4 Skema Elektrokimia dari Baterai Litium Sulfur.(Y. Chen et al., 2021)

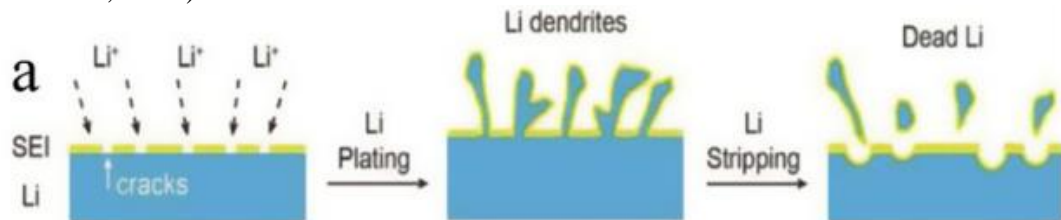
Pada proses *charge-discharge*, jika terbentuk polisulfida akan mempengaruhi kapasitas degradasi dan efisiensi pengisiannya. Hal ini dikarenakan oleh *polysulfide shuttle*. *Polysulfide shuttle* dapat terjadi ketika polisulfida yang larut dalam elektrolit berdifusi ke elektroda negatif dan tereduksi membentuk lapisan tebal yang tidak larut pada permukaan logam litium. Hal ini mengakibatkan impedansi pada permukaan tinggi dan efisiensi coulomb rendah(Liang & Nazar, 2016).

2.3.1 Anoda Litium pada Baterai Litium Sulfur

Anoda litium memiliki peran penting pada baterai litium sulfur. Anoda litium berperan dalam stabilitas elektrokimia dan keamanan dari baterai. Litium memiliki performa yang sangat baik dengan densitas gravimetri rendah (0.59 gram/cm³), *theoretical specific capacity* tinggi (3860 mAh/gram) dan potensial redoks sebesar -3.040 V(H. Zhao et al., 2018). Reaksi antara logam litium dan polisulfida yang dapat dilihat pada reaksi 2.1 hingga 2.4 diatas dapat diketahui bahwa polisulfida dari katoda dapat mudah berpindah ke anoda litium. Sehingga, dapat menghasilkan efisiensi Coulomb yang rendah dan performa *cycle* lebih rendah(Y. Chen et al., 2021).

Salah satu kekurangan dari anoda litium yaitu dapat menumbuhkan dendrit litium. Hal ini dikarenakan distribusi rapat arus yang tidak homogen pada permukaan logam litium. Ion litium mudah bernukleasi pada tonjolan dan membentuk dendrit litium. Pertumbuhan dendrit

litium dapat menyebabkan pemecahan dan konsumsi lapisan *interface* elektrolit (biasanya disebut *Solid Electrolyte Interface* atau SEI) secara menerus. Dendrit litium ini dapat terus tumbuh dan berpotensi menembus *separator* dan menyebabkan korsleting internal dan masalah keamanan. Pembentukan dendrit litium dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini(Y. Chen et al., 2021).



Gambar 2.5 Proses Pembentukan Dendrit Li(H. Zhao et al., 2018)

2.3.2 Katoda Sulfur pada Baterai Litium Sulfur

Sulfur banyak dipelajari menjadi katoda dari baterai litium sulfur karena memiliki kapasitas spesifik teoritis yang tinggi, biaya yang murah dan ramah lingkungan. Tetapi, sulfur juga memiliki kekurangan yaitu konduktivitasnya yang rendah, perubahan volume sulfur yang besar dan peluruhan kapasitas yang tidak dapat diubah serta stabilitas *cycle* yang buruk karena pengangkutan litium-polisulfida(Z. Chen et al., 2021). Biasanya, pada katoda sulfur diberi dengan *host material* yang merupakan material metal oksida seperti TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 , MgO , hidroksida logam $Ni(OH)_2$ dan metal organik MOFs. Material-material tersebut telah diuji dan ditemukan bahwa membentuk ikatan kimia yang kuat dengan litium polisulfida (sulfur impregnation). Hal ini untuk menghindari terjadinya *polysulfide shuttle*.(Lee et al., 2015)

Tabel 2.1 Perbandingan Katoda Sulfur dan logam transisi(Jin et al., 2014)

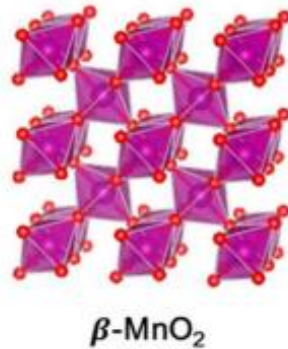
Katoda	Theoretical Capacity (mAh/g)	Estimated Capacity (mAh/g)	Estimated Energy Density of Cathode/Anode (Wh/kg)
Sulfur	1672	1000	2600
C/S – 60%	1005	600	1260
C/S – 50%	836	500	1050
$LiFePO_4$	170	160	552
$LiMn_2O_4$	148	110	440
$LiCoO_2$	274	140	518

2.4 Mangan Dioksida

Pada baterai litium sulfur, MnO_2 dapat digunakan untuk me-retensi polisulfida di katoda sulfur. Hal ini bergantung pada reaksi redoks polisulfida melalui in-situ dengan tiosulfat di permukaan MnO_2 . Tiosulfat ini berfungsi untuk mengakatasi rantai dari polisulfida dan membentuk politionat(Liang & Nazar, 2016). MnO_2 memiliki beberapa struktur yaitu *pyrolussite* ($\beta-MnO_2$), *hollandite* ($\alpha-MnO_2$) dan *birnessite* ($\delta-MnO_2$). Pada umumnya, valensi rata-rata Mn terletak antara 3 dan 4. Sehingga, struktur MnO_2 didasarkan pada satu unit struktural. (Sc Mohamed Abdel megeed Ibrahim Said aus Assiut, 2015)

2.4.1 *Pyrolussite* ($\beta\text{-MnO}_2$)

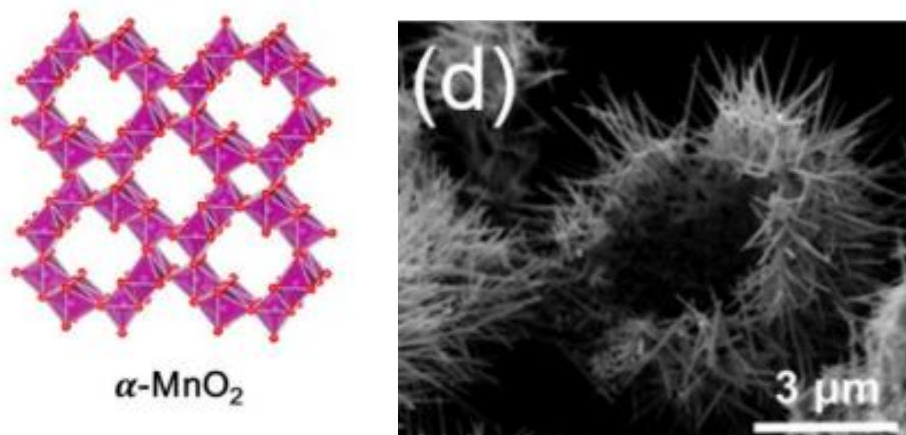
Pyrolussite merupakan struktur MnO_2 yang paling stabil dari struktur MnO_2 yang lain. Memiliki struktur dengan tipe tetragonal simetri dan rantai tunggalnya terbuat dari MnO_6 membentuk terowongan dengan penampang berbentuk persegi yaitu oktahedral dan oktahedral yang memiliki lubang terowongan dengan ukuran (1×1) . Terowongan ini terlalu kecil untuk menampung ion kimia selain Li^+ (Sc Mohamed Abdel megeed Ibrahim Said aus Assiut, 2015). Struktur dari *pyrolussite* dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Struktur *Pyrolussite*(Tang et al., 2018)

2.4.2 *Hollandite* ($\alpha\text{-MnO}_2$)

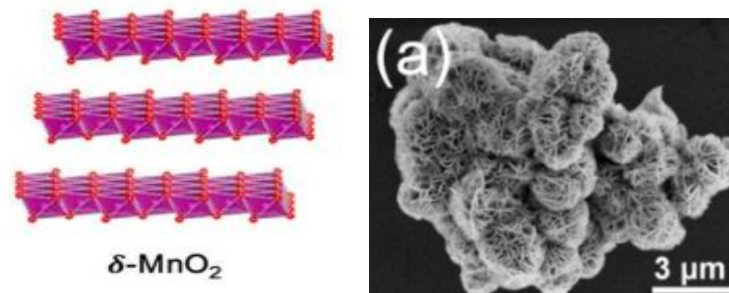
Hollandite merupakan MnO_2 yang memiliki simetri tetragonal dengan parameter $a = 9,8776$ dan $c = 2,8654$. Mineral *hollandite* biasanya memiliki monoklinik simetri. Struktur *hollandite* terdiri dari rantai ganda MnO_6 yang berbagi tepi oktahedral sehingga membenuk terowongan 2×2 yang merambat sepanjang sumbu c dengan sel satuan tetragonal. Struktur terowongan *hollandite* dapat distabilkan dengan Ba^{2+} atau K^+ atau dapat juga dengan molekul air yang diletakkan di tengah terowongan 2×2 bersamaan dengan reduksi Mn^{4+} menjadi Mn^{3+} dan penggantian O^{2-} oleh OH^- (Sc Mohamed Abdel megeed Ibrahim Said aus Assiut, 2015). Struktur *hollandite* lebih besar daripada *pyrolussite* dan biasa digunakan untuk baterai litium. Gambar 2.7 dibawah ini menunjukkan struktur dari *hollandite*.



Gambar 2.7 Struktur *Hollandite*(Tang et al., 2018)dan Gambar SEM *Hollandite*(Ge et al., 2020)

2.4.3 Birnessite ($\delta\text{-MnO}_2$)

Birnessite merupakan struktur berlapis MnO_2 yang dimodifikasi secara kimia. Struktur senyawa ini terdiri dari lapisan dengan jarak antar lapisan sekitar 7\AA . Struktur ini distabilkan oleh interkalasi dari kation seperti Na^+ atau K^+ dan kandungan air yang signifikan. *Birnessite* yang mengandung Na hampir terdiri dari lapisan bebas kosong yang terdiri dari MnO_6 oktahedral. Substitusi Mn^{3+} untuk Mn^{4+} menghasilkan distorsi John-Teller yang menyebabkan distorsi simetri heksagonal pada lapisan (Sc Mohamed Abdel megeed Ibrahim Said aus Assiut, 2015). Struktur *birnessite* dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini



Gambar 2.8 Struktur *Birnessite* (Tang et al., 2018) dan Gambar SEM *Birnessite* (Ge et al., 2020)

2.5 Ukuran Partikel

Ukuran partikel diperoleh dalam bentuk diameter partikel dan distribusi diameter (ukuran) partikel. Ukuran partikel merupakan diameter rata-rata partikel suatu sampel, pada umumnya sifat sampel adalah *polydisperse* atau heterogen dengan diameter yang bervariasi dan rentang yang lebar. Sampel dengan ukuran yang hampir sama disebut dengan *monodisperse* dan jarang ditemukan (Sumaryo & Sarwanto, 2020). Semakin kecil ukuran maka semakin luas permukaannya. Katoda dengan ukuran partikel yang kecil dengan area antarmuka besar dapat meningkatkan ion litium untuk difusi. Pada proses *discharge* dengan ukuran partikel kecil dapat meningkatkan area antarmuka untuk kontak dengan elektrolit yang bertujuan untuk meningkatkan ion litium berikatan dengan *host structure* yang menghasilkan efisiensi kolombik tinggi (Lu & Lin, 2001). Ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap kapasitansi suatu elektroda. Semakin besar luas permukaan elektroda maka semakin besar kemampuan elektroda untuk menyimpan muatan. Luas permukaan yang besar akan menyediakan tempat untuk penyimpanan muatan dan membentuk lapis rangkap listrik pada permukaan elektroda. Ukuran partikel berbanding terbalik dengan tegangan mula partial *discharge* (Alif et al., 2017).

Ukuran partikel juga dipengaruhi oleh *crystallite size* dan ukuran kristalnya. *Crystallite* merupakan bagian terkecil dari suatu kristal. *Crystallite* sendiri merupakan wilayah didalam kristal dimana rantai molekul-nya diatur dan disejajarkan. Kristal adalah keadaan bahan padat yang atom, ion atau molekul dalam susunan berulang atau periodic. Proses ini terjadi saat pepadatan. Ketika proses pepadatan atom akan memposisikan diri dalam pla tiga dimensi berulang dan tiap atom terdekak berikatan. Beberapa sifat kristal bergantung pada struktur kristalnya (Callister & David Rethwisch, 2014).

Salah satu perhitungan ukuran partikel merupakan dengan pengayakan. Satuan yang digunakan dalam pengayakan merupakan mesh. Mesh adalah jumlah kawat per inci linier yang dihitung dari pusat ke titik sembarang yang berjarak tepat 1 inci, termasuk jarak fraksional antara keduanya. Tabel dibawah ini merupakan konversi ukuran mesh dengan ukuran mikrometer dan inci (American Society for Testing and Matherial, 2013)

Tabel 2.2 Tabel Konversi Ukuran Mesh Mikron

Sieve Designation		Nominal Sieve Opening, in.	Permissible Variation of Average Opening from the Standard Sieve Designation
Standard	Alternative		
425 μm	NO. 40	$\pm 19 \mu\text{m}$	471 μm
355 μm	NO. 45	$\pm 16 \mu\text{m}$	396 μm
300 μm	NO. 50	$\pm 14 \mu\text{m}$	337 μm
250 μm	NO.60	$\pm 12 \mu\text{m}$	283 μm
212 μm	NO.70	$\pm 10 \mu\text{m}$	242 μm
180 μm	NO. 80	$\pm 9 \mu\text{m}$	207 μm
150 μm	NO. 100	$\pm 8 \mu\text{m}$	174 μm
125 μm	NO. 120	$\pm 7 \mu\text{m}$	147 μm
106 μm	NO. 140	$\pm 6 \mu\text{m}$	126 μm
90 μm	NO. 170	$\pm 5 \mu\text{m}$	108 μm
75 μm	NO. 200	$\pm 5 \mu\text{m}$	91 μm
63 μm	NO. 230	$\pm 4 \mu\text{m}$	77 μm
53 μm	NO. 270	$\pm 4 \mu\text{m}$	66 μm
45 μm	NO. 325	$\pm 3 \mu\text{m}$	57 μm
38 μm	NO. 400	$\pm 3 \mu\text{m}$	48 μm
32 μm	NO. 450	$\pm 3 \mu\text{m}$	42 μm

2.6 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Peng, et al (2021), katoda sulfur yang diberi *host material* MnO_2 dan tidak, namun keduanya diberi carbon nanobox (C NBs). Didapatkan bahwa katoda sulfur yang diberi MnO_2 dapat menyerap litium polisulfida yang terbentuk dan dapat mengonversi polisulfida larut dalam litium menjadi Li_2S_2 atau Li_2S tidak larut dan kembali menjadi belerang. Katoda $\text{S}/\text{MnO}_2@ \text{C NBs}$ memiliki performa elektrokimia yang lebih baik dengan kapasitas *discharge* sebesar 854 mAh/gram pada *cycle* 200 dan dengan 0,2C(Peng et al., 2021).

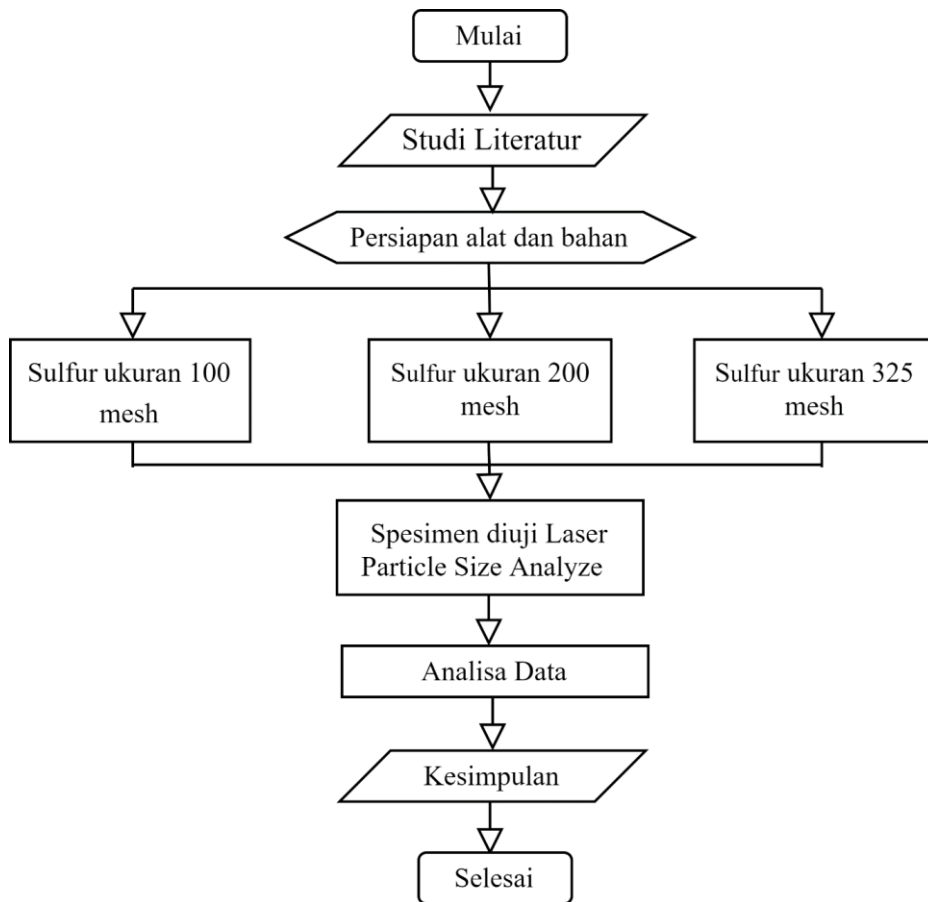
Pada penelitian yang dilakukan oleh Liang, et al (2016), dilakukan sintesis katoda pada baterai litium sulfur. Sintesis sulfur dan MnO_2 dengan perbandingan berat 1:4. Didapatkan kapasitas yang dihasilkan lebih tinggi yaitu 1040 mAh/g.(Liang & Nazar, 2016)

Pada penelitian yang menganalisis ukuran partikel katoda pada baterai litium dengan katoda Cu_2O dengan 2 sampel Cu_2O monodispersi dengan ukuran $\pm 0,15 \mu\text{m}$ (sampel A) dan $\pm 1 \mu\text{m}$ (sampel B) memiliki kurva komposisi tegangan yang hampir sama. Selama *first discharge*, rentang tegangan slop yang dihasilkan dari kedua sampel berbeda. Pada sampel A didapatkan tegangan slop sebesar 1,4 hingga 1 V dan sampel B sebesar 1 hingga 0,02 V. Perbedaan signifikan dari kedua sampel terdapat pada *capacity retention* yang bergantung pada *cycling rates* baterai. Saat rentang *cycling rates* C/2 hingga C/10, sampel B lebih mampu mempertahankan kapasitas hingga lebih dari 70 *cycles* dengan fluktuasi kurang dari 10%. Sedangkan pada sampel A kapasitasnya terus menurun hingga mencapai 200 mAh/g pada siklus ke 50(Grueon et al., 2001)

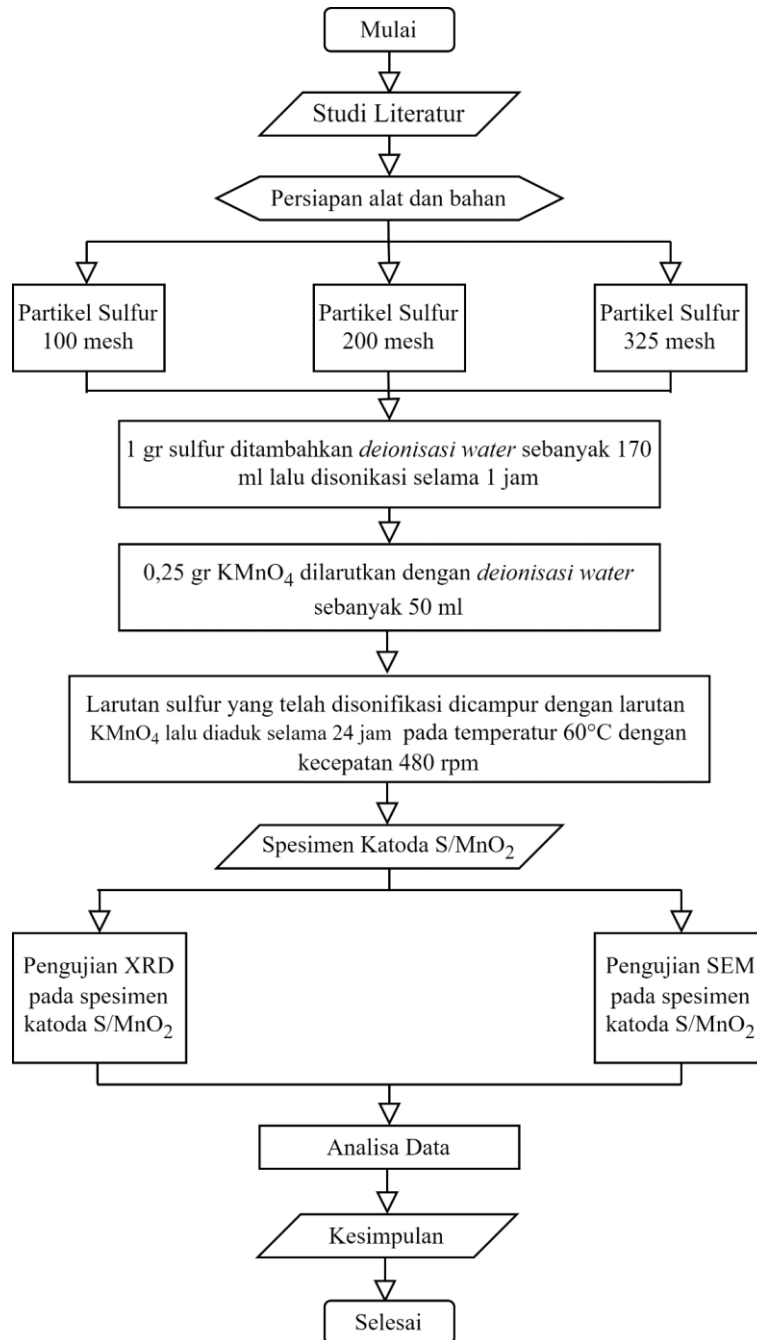
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

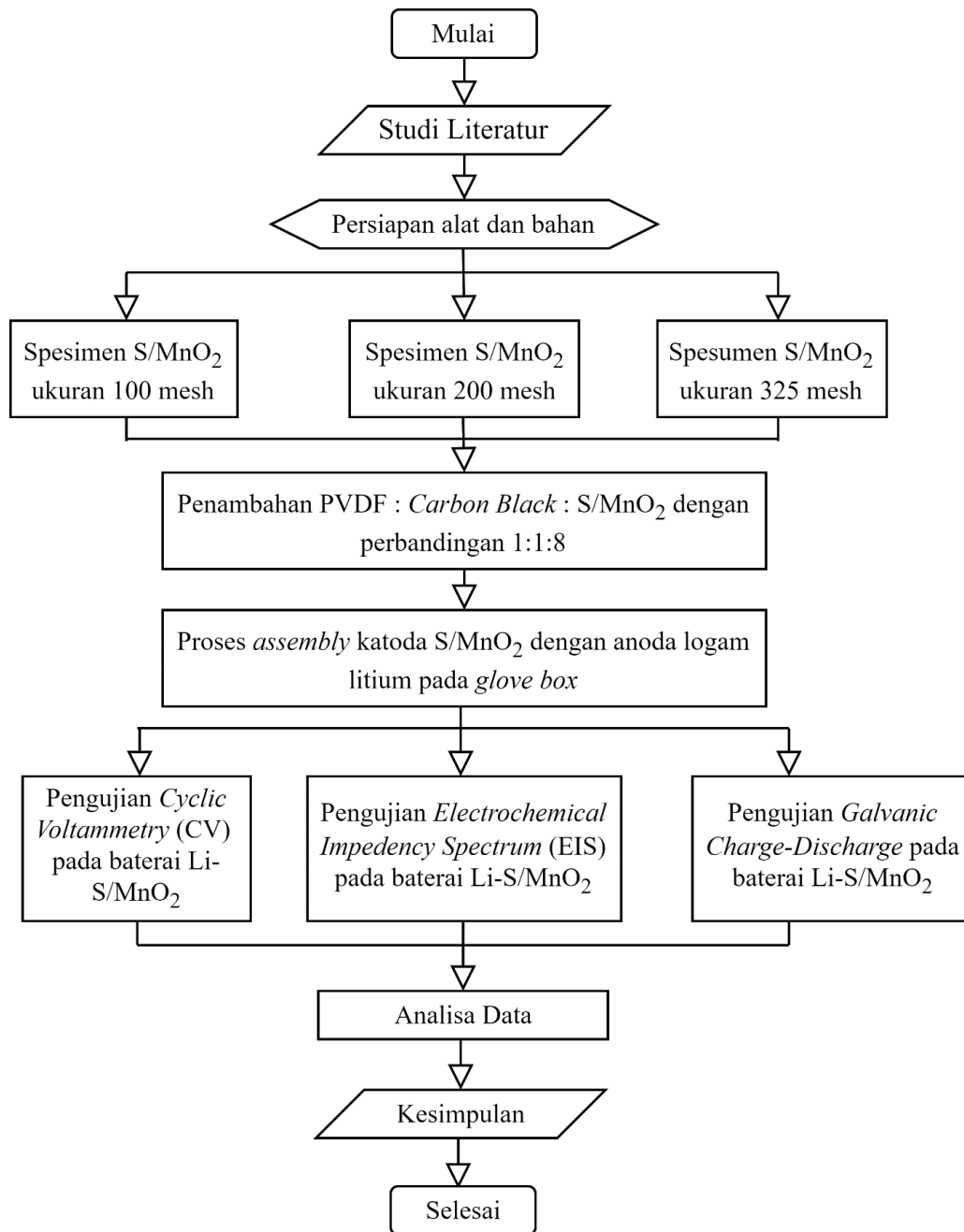
Pada penelitian ini, diagram alir yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 dibawah ini. Gambar 3.1 menjelaskan pengujian karakterisasi sulfur, Gambar 3.2 menjelaskan pengujian karakterisasi sulfur/MnO₂ dan Gambar 3.3 menjelaskan pengujian performa elektrokimia.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian Karakteristik Sulfur



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Karakteristik Sulfur/MnO₂



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengujian Performa Elektrokimia

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah:

1. KMnO_4

Pada penelitian kali ini, KMnO_4 yang digunakan dibeli di RAS Chemical, Indonesia. KMnO_4 digunakan untuk pembuatan katoda dengan cara membentuk MnO_2

melalui proses sintesis. MnO_2 ini digunakan untuk melapisi sulfur pada baterai.



Gambar 3.4 Kalium Permanganat ($KMnO_4$) *Ras Chemical*

2. Sulfur

Sulfur banyak dijual serta mudah didapatkan di Indonesia. Sulfur digunakan untuk pembuatan katoda dengan cara dilapisi MnO_2 yang sebelumnya telah disintesis. Sulfur yang digunakan memiliki ukuran 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh



Gambar 3.5 Sulfur dengan Ukuran 325 Mesh ($49 \mu m$)

3. *Deionisasi Water*

Deionisasi water digunakan untuk pelarut pada penelitian kali ini. *Deionisasi water* yang digunakan dibeli di *Onemed Indonesia*.



Gambar 3.6 *Deionisasi Water Onemed Indonesia*

4. Toluena

Toluena yang digunakan dibeli di Sumber Ilmiah Persada. Toluena ini digunakan sebagai bahan pemisah antara sulfur yang dilapisi dengan MnO_2 . Toluena ini dibeli di Sumber Ilmiah Persada



Gambar 3.7 Toluena Sumber Ilmiah Persada

5. Kertas Filter

Kertas filter ini dibeli di U.D Sukoharjo. Kegunaan dari kertas filter sendiri yaitu untuk menyaring larutan campuran katoda. Sehingga, material katoda terpisah dengan larutannya.



Gambar 3.8 Kertas Filter U.D. Sukoharjo

6. *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)

Polyvinylidene fluoride (PVDF) merupakan bahan adesif sebagai katoda Sulfur/ MnO_2 . PVDF ini digunakan saat sebelum proses assembly.



Gambar 3.9 Polyvinylidene fluoride (PVDF)

7. Carbon Black

Carbon black digunakan pada campuran katoda sulfur/ MnO_2 sebelum assembly. Kegunaan *carbon black* ialah menambah konduktivitas katoda pada baterai



Gambar 3.10 Carbon Black

8. Separator

Separator digunakan untuk pemisahan katoda dan anoda pada baterai litium. Separator perlu diberikan elektrolit untuk proses elektrokimia yang terjadi pada baterai.



Gambar 3.11 Separator

9. Elektrolit LiTFSi

Elektrolit LiTFSi ini digunakan untuk proses elektrokimia pada baterai lithium sulfur.



Gambar 3.12 Elektrolit LiTFSi Untuk Baterai Litium Sulfur

10. Logam Litium

Kegunaan logam litium yaitu sebagai anoda pada pembuatan baterai litium sulfur. Litium nantinya di-assembly di glove box dengan gas argon. Karena litium merupakan logam yang cepat mengalami oksidasi.



Gambar 3.13 Logam Litium

11. Aluminium Foil

Material ini digunakan untuk menutupi gelas beaker saat pengadukan pada magnetic stirrer serta saat material katoda dilakukan pengovenan.



Gambar 3.14 Aluminium Foil

12. Lithium Coin Cell

Material ini digunakan untuk assembly baterai untuk pengujian performa elektrokimia didalamnya.



Gambar 3.15 *Lithium Coin Cell*

13. Larutan N-Methyl-Pyrolidone (NMP)

Larutan ini berguna sebagai pelarut binder PVDF yang nantinya digunakan untuk merekatkan carbon black di katoda sulfur/MnO₂.



Gambar 3.16 Larutan *N-Methyl-Pyrrolidone* (NMP)

14. Gas Argon

Gas ini digunakan untuk proses assembly pada glove box. Gas argon diperlukan karena logam litium reaktif dengan udara. Maka dari itu, diperlukan gas yang memiliki sifat inert.



Gambar 3.17 Gas Argon

3.3 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah:

1. Neraca Analitik

Neraca analitik ini digunakan untuk menimbang material yang digunakan untuk pembuatan baterai litium sulfur.



Gambar 3.18 Neraca Analitik

2. Kaca Arloji

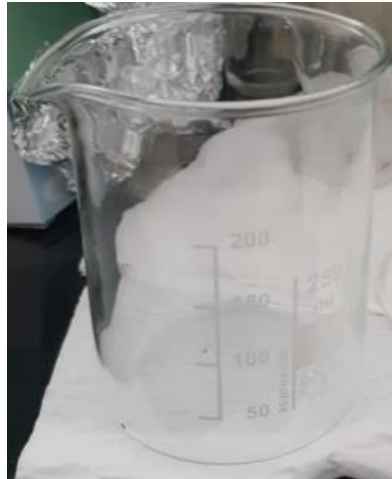
Kaca arloji digunakan saat penimbangan material dilakukan.



Gambar 3.19 Kaca Arloji

3. Gelas Beker

Gelas beker digunakan untuk melarutkan bahan dengan larutan yang sudah dibutuhkan untuk pembuatan katoda baterai litium sulfur. Gelas beker yang digunakan memiliki ukuran 250ml.



Gambar 3.20 Gelas Beker

4. Oven

Oven digunakan untuk pengeringan dan pemanasan material untuk pembuatan katoda baterai litium sulfur



Gambar 3.21 Oven

5. *Hot Plate Magnetic Stirrer*

Hot Plate Magnetic Stirrer digunakan untuk pengadukan material. Material tersebut yaitu sulfur, KMnO_4 dan deionisasi water.



Gambar 3.22 *Hot Plate Magnetic Stirrer*

6. *Ultrasonic Cleaner*

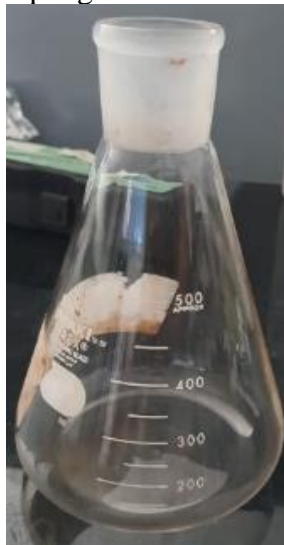
Ultrasonic Cleaner digunakan untuk pembersihan sulfur dengan cara sonikasi menggunakan gelombang ultrasonik.



Gambar 3.23 *Ultrasonic Cleaner*

7. Gelas Labu

Gelas ini digunakan untuk menampung air saat dilakukan penyaringan.



Gambar 3.24 Gelas Labu

8. Gelas Corong

Gelas corong diberi kertas saring yang nantinya digunakan untuk proses penyaringan.



Gambar 3.25 Gelas Corong

9. *Glove Box*

Glove box digunakan untuk proses assembly material yang akan digunakan untuk pengujian EIS, CV, galvanic charge-discharge.



Gambar 3.26 *Glove Box*

10. *X-ray Diffraction (XRD)*

X-ray Diffraction atau XRD digunakan untuk mengetahui struktur fasa mangan oksida yang terbentuk.



Gambar 3.27 *X-Ray Diffraction (XRD)*

11. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi dari struktur yang terbentuk dalam proses pembuatan katoda.



Gambar 3.28 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

12. *Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)*

Galvanostatic Charge-Discharge (GCD) merupakan alat pengujian pengisian daya dan keluaran daya baterai.



Gambar 3.29 *Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)*

13. *Cyclic Voltammetric (CV)*

CV merupakan alat pengujian yang digunakan untuk mengetahui ketahanan baterai selama digunakan.



Gambar 3.30 *Cyclic Voltammetric (CV)*

14. *EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)*

EIS merupakan alat pengujian yang digunakan untuk mengetahui karakteristik elektrokimia material. Alat pengujian EIS sama dengan alat pengujian CV yang dapat dilihat pada **Gambar 3.31**

15. *Particle Size Analysis*

Particle Size Analysis merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui ukuran dari partikel spesimen. Alat pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.32



Gambar 3.31 Alat Pengujian *Particle Size Analysis*

3.4 Metode Penelitian

Penelitian kali ini menggunakan metode pada jurnal Liang tahun 2016 untuk tahap sintesis katoda Sulfur/ MnO_2 . Pada tahap sintesis ini dilakukan pengadukan dengan temperatur 60°C dengan variasi ukuran partikel. Tahapan-tahapan pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut :

3.4.1 Sintesis Katoda Sulfur/ MnO_2

Proses ini dimulai dari pencampuran sulfur sebanyak 1 gr dengan deionisasi water sebanyak 150 ml. Campuran ini kemudian diproses sonikasi selama 1 jam. Proses sonikasi digunakan untuk pembersihan sulfur dari pengotor. Proses sonikasi ini dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 3.32 Proses Sonikasi pada Sulfur

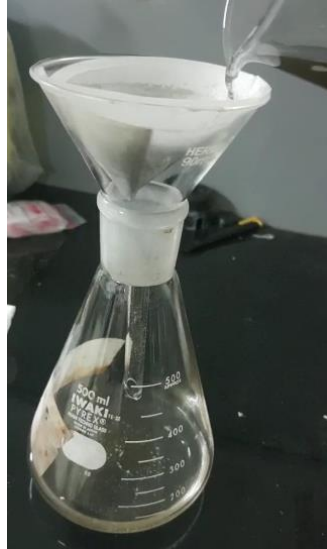
Pada proses sonikasi, dilanjutkan langkah selanjutnya yaitu melarutkan KMnO_4 sebanyak 25 gram dengan 50 ml deionisasi water. Setelah proses sonikasi selesai, sulfur difiltrasi menggunakan kertas saring. Setelah disaring, sulfur dicampurkan dengan larutan KMnO_4 yang telah dibuat. Pencampuran menggunakan alat *magnetic stirrer* selama 24 jam dengan temperatur *hot plate* 60°C . Setelah dilakukan pengadukan, campuran tersebut disaring kemudian dikeringkan di oven dengan temperatur 60°C selama 24 jam.



Gambar 3.33 Proses Pencampuran Sulfur dan MnO_2

3.4.2 Proses Pencucian dengan Toluena

Tujuan dari proses pencucian ini adalah menghilangkan sulfur untuk melihat struktur MnO_2 yang terbentuk. Proses ini diawali dengan pengadukan sulfur/ MnO_2 dengan toluena selama 1 jam dengan temperatur $60^\circ C$. Proses pengadukan ini diulangi hingga tiga kali. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan sulfur secara maksimal. Setelah dilakukan pengulangan tiga kali, hasil campuran toluena dan sulfur/ MnO_2 disaring dengan kertas filter. Sehingga didapatkan MnO_2 yang telah kehilangan sulfur. Kemudian spesimen MnO_2 dikeringkan. Lalu, spesimen dilakukan pengujian XRD untuk melihat struktur MnO_2 yang terbentuk.



Gambar 3.34 Proses Penyaringan Campuran Sulfur/ MnO_2 dan Toluena

3.4.3 Proses *Assembly* Baterai Litium Sulfur

Proses ini dilakukan untuk pengujian performa elektrokimia pada pengujian EIS, CV, GCD. Proses ini diawali dengan proses pencampuran katoda. Sulfur/ MnO_2 dicampur dengan PVDF dan carbon black dengan perbandingan 8:1:1 didalam NMP water. Campuran ini diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Setelah terbentuk campuran tersebut dikeringkan di atas aluminium foil pada oven di temperatur $60^\circ C$ selama 4 jam. Setelah kering, sulfur/ MnO_2 siap di *assembly* menjadi katoda baterai litium sulfur.

Proses *assembly* dilakukan pada alat *glove box* dengan gas argon. Koin sel negatif ditetesi dengan elektrolit LiTFSi sebanyak 3-4 tetes. Kemudian logam litium ditaruh di atasnya dan ditetesi larutan LiTFSi 3-4 tetes lagi. Selanjutnya separator ditaruh diatas logam litium dan ditetesi elektrolit LiTFSi 3-4 tetes kembali. Kemudian, katoda dipasang. Lalu, spacer, spring dan koin sel positif dipasang. Setelah semua selesai, koin dipres di mesin pressing dengan kekuatan mencapai 10 MPa. Hal ini dilakukan agar koin sel litium rapat dan dapat digunakan untuk pengujian.

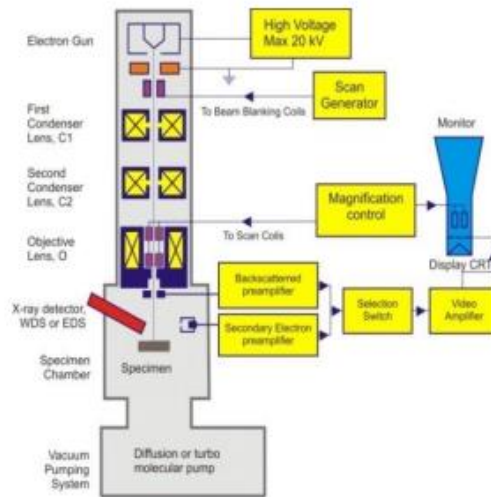
3.5 Pengujian Morfologi *Scanning Electron Microscopy*

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* atau SEM digunakan untuk mengetahui morfologi pada katoda sulfur/ MnO_2 yang terbentuk. SEM digunakan untuk melihat ukuran partikel dan struktur permukaan suatu zat, partikel ataupun cairan dengan cara perbesaran hingga ukuran mikro atau nano. Prinsip kerja dari SEM yaitu dengan menembakkan cahaya sehingga menghasilkan berkas elektron, kemudian anoda menangkap berkas elektron yang dihasilkan dan mengarahkannya ke sampel. Kemudian, sampel mengeluarkan elektron baru dan dikirim ke monitor untuk dilihat hasilnya dan dicetak apabila diperlukan..

Langkah-langkah pengujian SEM untuk penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Sampel sulfur/MnO₂ yang berbentuk serbuk dimasukkan ke dalam holder
2. Holder dimasukkan ke dalam mesin uji SEM.
3. Udara dalam tabung pada alat dikondisikan supaya vakum dan siap dilakukan proses pengamatan
4. Hasil permukaan spesimen muncul pada layar komputer dan dapat diperbesar sesuai dengan

Pengujian ini dilakukan di Divisi Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS. Skema pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 3.36 dibawah ini



Gambar 3.35 Skema Pengujian SEM(Sujatno et al., 2015)

3.6 Pengujian Fasa *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Prinsip kerja dari XRD yaitu generator tegangan tinggi yang berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada *X-ray tube*. Sampel yang padat dan serbuk dimampatkan dan diletakkan pada wadah yang telah daitur posisinya. Berkas sinar-X ditembakkan ke sampel dan nantinya sinar-X didifraksi oleh sampel. Berkas sinar-X masuk ke alat pencacah dan intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan bentuk kurva. Sinar-x yang digunakan memiliki rentang sudut panjang 5° - 90 ° dan panjang gelombang CuK α 1,54056.

Langkah-langkah pengujian SEM untuk penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Spesimen uji disiapkan dan disesuaikan ukuran berat serta ukuran yang diperbolehkan untuk analisis XRD
2. Spesimen ditempatkan di dalam *holder* yang sudah disediakan titik fokus hamburan sinar-X. Letak titik fokus berada di tengah piring yang digunakan
3. Spesimen ditembak oleh sinar-X yang kemudian difraksikan
4. Sinar-X yang difraksikan ditangkap oleh *X-Ray Detector* dan dihasilkan grafik pada layar monitor.

Pengaruh fasa terhadap *crystallite size* dapat dihitung dengan perhitungan *Debye Scherrer* sesuai dengan persamaan

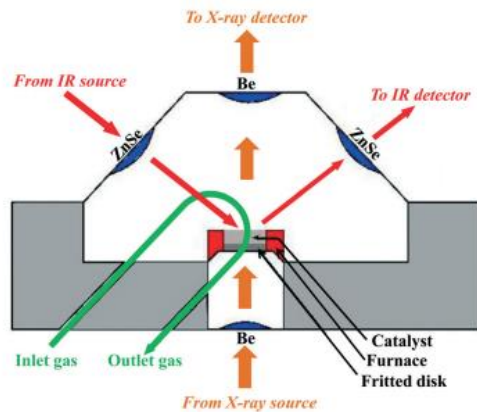
$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots 3.1$$

D mewakili ukuran kristal dengan satuan Amstrong (\AA), λ merupakan Panjang gelombang alat XRD yang digunakan sebesar 1.54056\AA , β ,merupakan lebar setengah puncak atau FWHM dengan satuan radian, serta θ merupakan sudut terbentuknya puncak pada hasil analisis XRD.

Parameter kisi struktur kristal dapat dihitung dengan persamaan 4.3 dibawah ini

$$(3.2) \quad \frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad \dots\dots\dots$$

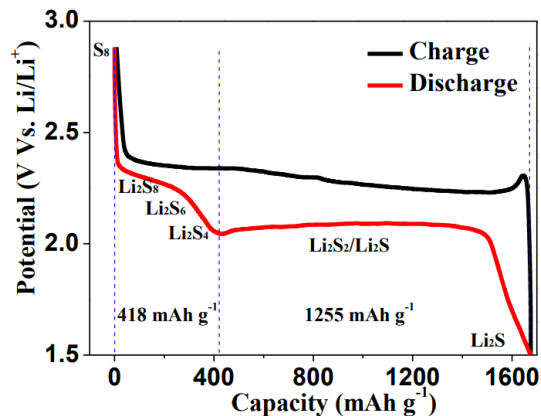
Pengujian ini dilakukan di Divisi Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS. Skema pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 3.37 dibawah ini



Gambar 3.36 Skema Pengujian XRD(Scalbert et al., 2015)

3.7 Pengujian Galvanic Charge and Discharge (GCD)

Pengujian *Galvanic Charge Discharge* (GCD) dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisis Kegagalan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS. Pengujian *Galvanic Charge Discharge* (GCD) dilakukan untuk mengetahui kemampuan katoda sulfur/ MnO_2 menyimpan energi. Kapasitas energi dinyatakan dengan satuan mAh/gram. Pengujian GCD dilakukan dengan kepadatan arus konstan. Kapasitas katoda dapat dihitung berdasarkan waktu *charge discharge* dan kerapatan arus. Nilai C yang digunakan memiliki variasi 0,5C ; 1C ; 2C ; 5C dan 10C Grafik *charge discharge* menampilkan hubungan potensial dan waktu. Gambar 3.38 dibawah ini merupakan grafik hasil pengujian GCD.



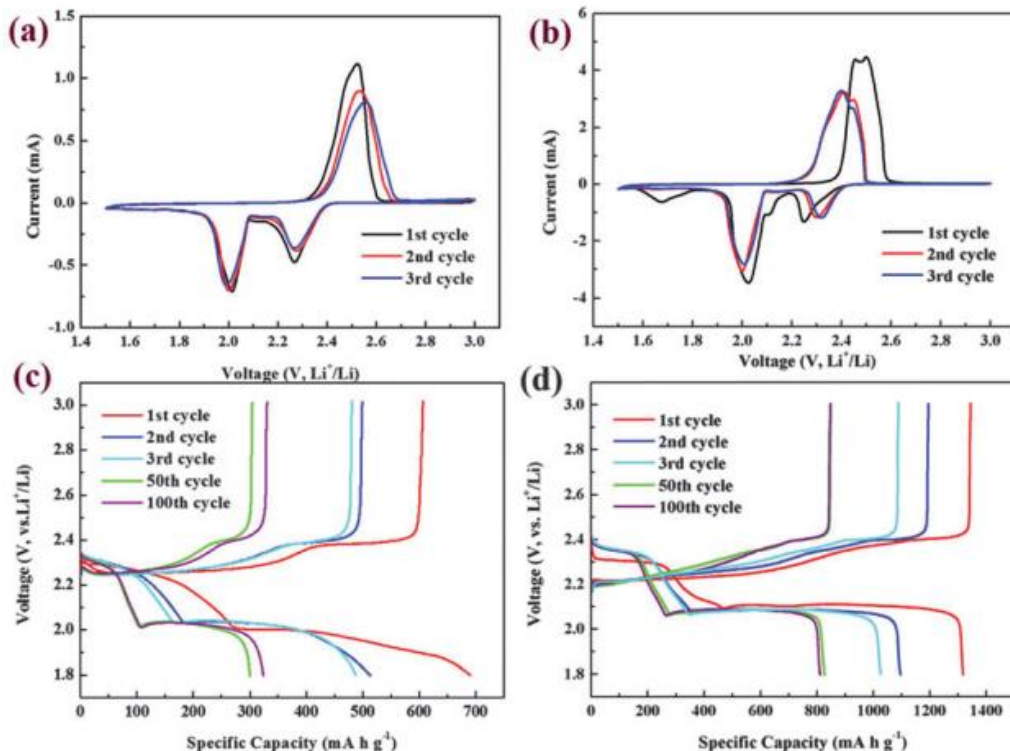
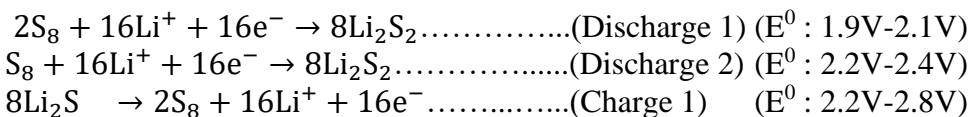
Gambar 3.37 Hasil Grafik GCD pada Baterai LiS(D et al., 2022b)

3.8 Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) digunakan untuk mengetahui elektroanalitik dari baterai. Elektroanalitik ini didasarkan pada prinsip elektrolisis dari larutan elektrolit yang mengandung analit elektroaktif dan reaksi yang terjadi pada elektroda dengan larutan elektrolitnya. Elektroda pada sel elektrokimia tersusun dari elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda asisten. Elektroda kerja merupakan tempat respons elektrokimia yang diamati. Sebagian besar elektroda kerja terbuat dari logam, berbahan semikonduktor dan karbon. Elektroda referensi berfungsi sebagai pembanding beda potensial pada elektroda dalam sel elektrokimia, biasanya menggunakan *SCE calomel*. Elektroda pembantu merupakan elektro yang berfungsi sebagai tempat berkumpulnya elektron. Sehingga arus dapat lewat dengan cara melalui sel dan tidak mempengaruhi reaksi pada elektroda kerja. Elektroda bantu harus bersifat inert dan biasanya menggunakan kawat platina.

Prinsip kerja dari pengujian CV yaitu memberikan potensial tertentu pada elektroda kerja. Setelah itu, arus yang terjadi akan diketahui. Plot antara arus yang diukur dengan potensial kerja yang diberikan disebut *voltammogram*. Arus yang dihasilkan dari reaksi reduksi disebut arus katodik, sedangkan arus yang dihasilkan dari reaksi oksidasi disebut dengan arus anodik. Pengujian CV dilakukan secara bolak-balik untuk mengetahui bagaimana reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi dengan baik. Gambar 3.39 dibawah ini merupakan contoh dari grafik hasil pengujian CV.

Pada baterai litium sulfur terjadi 2 atau 1 peak reduksi dan 1 peak oksidasi dengan persamaan berikut ini :



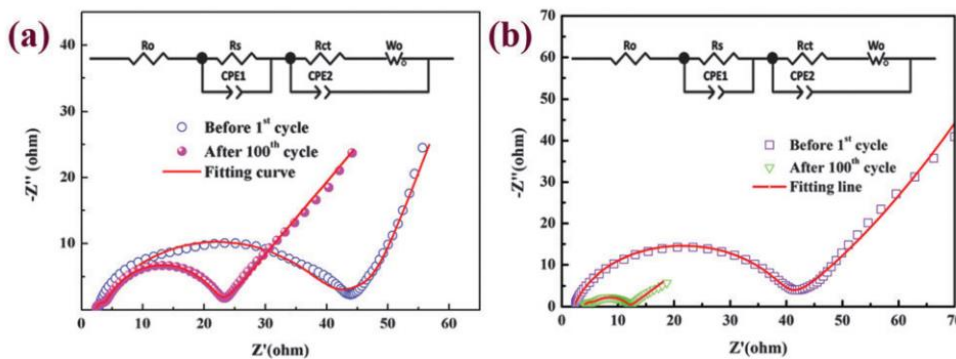
Gambar 3.38 Hasil Grafik Uji CV pada Baterai LiS(Qin et al., 2014)

3.9 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* atau EIS merupakan metode untuk menganalisis katoda sulfur/MnO₂ terhadap potensial AC dengan amplitudo yang rendah (~10 mV) pada rentang frekuensi. Spektrokopi impedansi AC merupakan teknik yang sangat baik digunakan untuk menentukan parameter kinetik dari proses elektroda termasuk elektrolit, lapisan, dan difusi Li⁺. *Charge-transfer resistance* (R_{ct}) merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi kuantitatif kecepatan reaksi elektroda. Biasanya, *charge-transfer resistance* yang besar menunjukkan reaksi elektrokimia yang lambat. *Charge-transfer resistance* dapat dihitung dari pengujian EIS dengan nilai sama dengan diameter setengah lingkaran di dalam region medium-frekuensi, seperti Gambar 3.40 dibawah ini. Hasil dari R_{ct} ini digunakan untuk mengetahui nilai dari konduktivitas baterai melalui persamaan :

$$\sigma = \frac{L}{RA} \dots\dots\dots 3.3$$

σ merupakan nilai konduktivitas (Ω⁻¹m⁻¹), L merupakan tebal katoda, R merupakan nilai R_{ct} (Ω) dan A merupakan diameter katoda,

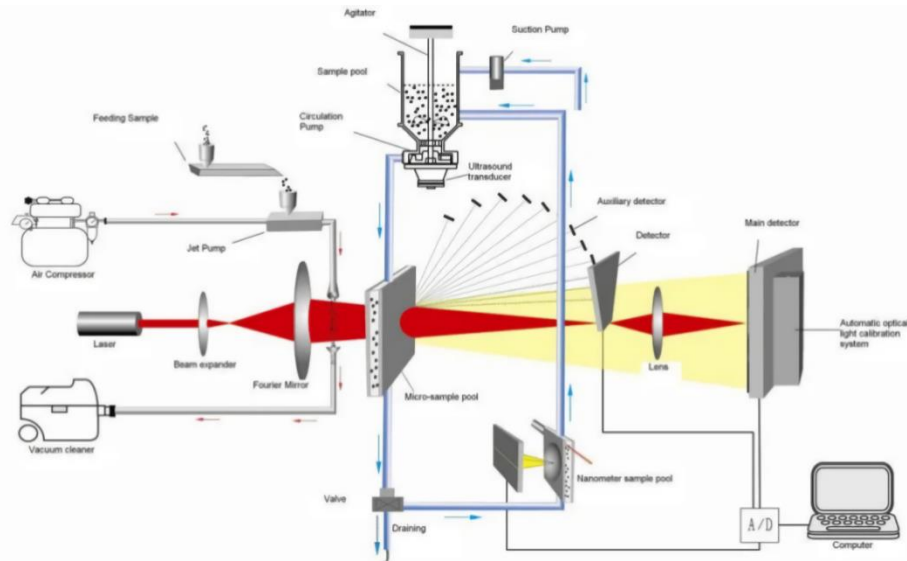


Gambar 3.39 Hasil Grafik Uji EIS pada Baterai LiS (Qin et al., 2014)

3.10 Pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA)

Pengujian *Particle Size Analyzer* atau PSA ini digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran pada sampel. Sampel yang dapat diaplikasikan pada pengujian PSA dapat berupa material padat, suspensi, emulsi dan aerosol. PSA lebih spesifik digunakan untuk mengukur ukuran partikel pada spesimen daripada XRD dan SEM. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam medium sehingga ukuran partikel yang terukur merupakan ukuran dari *single particle*. PSA menggunakan difraksi laser untuk mengukur ukuran partikel terutama pada ukuran 0,5µm hingga 100µm. Prinsip kerja PSA yaitu ketika laser dihamburkan oleh kumpulan partikel. Sudut cahaya hamburan berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Semakin besar sudut hamburan maka ukuran partikel semakin kecil.

Sampel yang digunakan pada pengujian PSA berupa cairan koloid. Kemudian, cairan dianalisis terlebih dahulu indeks refraksi dan viskositas. Lalu, sampel dianalisis dengan cara dimasukkan ke dalam kuvet alat PSA. Indeks refraksi disesuaikan dengan sampel, lalu dianalisis ukuran partikel rata-rata sampel. Biasanya dilakukan pengulangan hingga lima kali. Pengujian ini dilakukan di Departemen Fisika FMIPA ITS. Skema pengujian PSA dapat dilihat di Gambar 3.41 dibawah ini



Gambar 3.40 Skema Pengujian PSA(Neng Yulia Ningsih, 2013)

3.11 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian dan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian sintesis katoda sulfur/ MnO_2 pada baterai litium sulfur dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini

Tabel 3.1 Tabel Pengujian Sintesis Katoda Sulfur/ MnO_2

Perbandingan Berat Sulfur : $KMnO_4$	Ukuran Partikel (mesh)	Karakterisasi Material			Elektrokimia Baterai		
		XRD	SEM	PSA	GCD	CV	EIS
4 : 1	100	V	V	V	V	V	V
	200	V	V	V	V	V	V
	325	V	V	V	V	V	V

Adapun jadwal penelitian yang akan dilakukan pada penelitian sintesis katoda sulfur/ MnO_2 pada baterai litium sulfur dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini

Tabel 3.2 Jadwal Pengujian Sintesis Katoda Sulfur/ MnO_2

No	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	█	█	█	█																				
2	Persiapan alat dan bahan			█	█	█	█	█	█																
3	Proses Coating S/ MnO_2 dan Proses <i>Assembly</i> Baterai									█	█	█	█	█	█	█	█								
4	Pengujian Karakterisasi dan Elektrokimia Baterai													█	█	█	█	█	█	█	█				
5	Analisis hasil pengujian dan pembahasan																	█	█	█	█	█	█	█	█
6	Penulisan laporan tugas akhir																					█	█	█	█

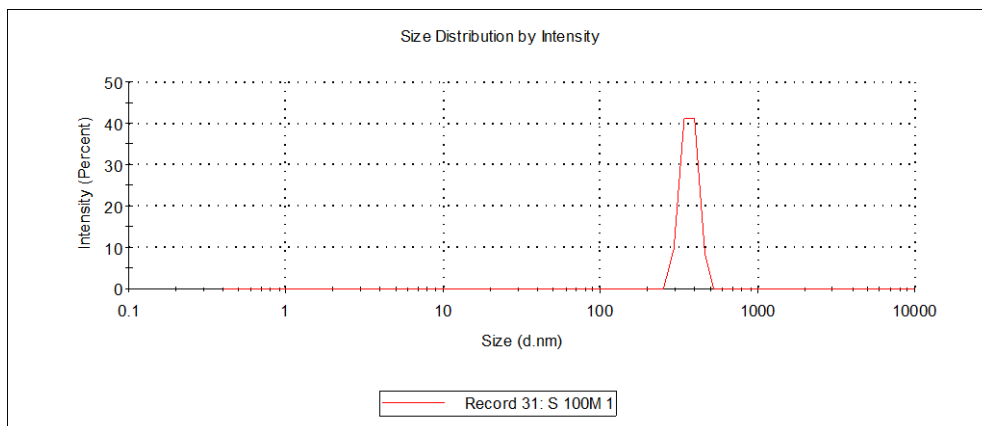
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Pengujian Karakterisasi

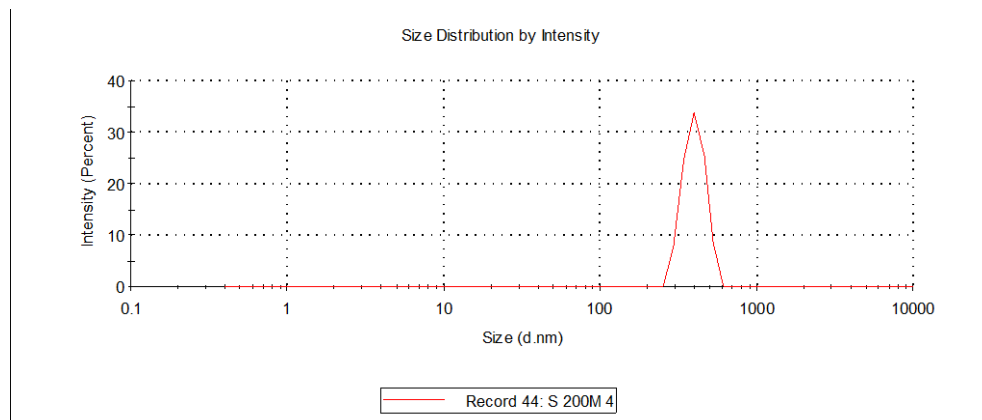
Hasil Pengujian karakterisasi dari penelitian baterai litium sulfur digunakan untuk mengetahui bagaimana hasil sintesis serta morfologi dari specimen Sulfur/MnO₂. Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh ukuran partikel dengan variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh. Pengujian ini dilakukan dengan 3 pengujian yaitu PSA, XRD, serta SEM

4.1.1 Hasil Karakterisasi *Particle Size Analyzer* Sulfur 100, 200 dan 325 mesh

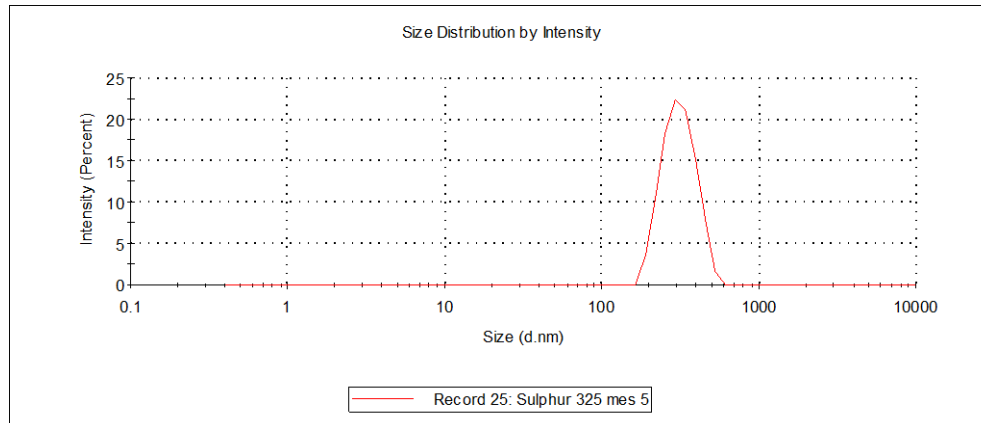
Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Zat Padat Departemen Fisika FSAD-ITS. Tujuan dari pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) ini adalah untuk mengetahui karakterisasi sulfur yang digunakan untuk sintesis katoda sulfur/MnO₂ pada katoda baterai sulfur. Karakterisasi yang perlu diketahui yaitu distribusi ukuran partikel pada sulfur 100, 200 dan 325 mesh. Pengujian PSA ini dilakukan dengan cara membuat larutan koloid sulfur dengan cara dilarutkan ke dalam air kemudian disonikasi untuk mendapatkan larutan koloid sulfur. Kemudian diuji dengan alat *Zeta Potential and Particle Size Analyzer*. Setelah itu, diidentifikasi menggunakan aplikasi *Zetasiser Software* untuk mengetahui distribusi ukuran partikelnya dengan cara melihat besar *Z average*-nya. Kemudian hasil *Z average* ini dianalisis secara manual dengan aplikasi *Origin*.



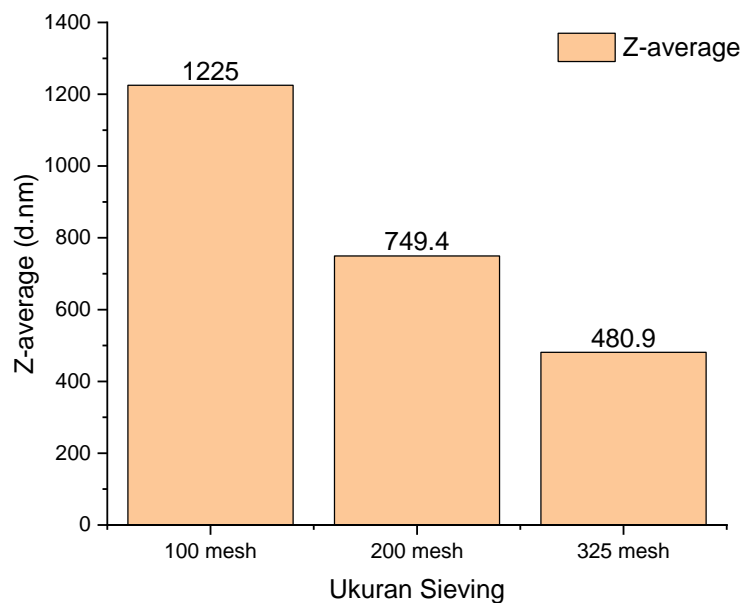
Gambar 4.1 Hasil Distribusi Partikel Sulfur 100 Mesh



Gambar 4.2 Hasil Distribusi Partikel Sulfur 200 Mesh



Gambar 4.3 Hasil Distribusi Partikel Sulfur 325 Mesh



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Karakterisasi PSA pada Sampel Sulfur

Tabel 4.1 Hasil Pengujian pada Sampel Partikel Sulfur

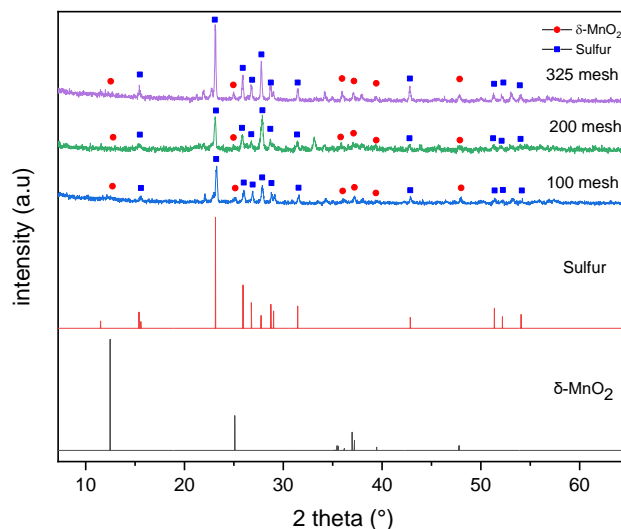
Ukuran Sieving (mesh)	Ukuran Partikel (nm)	
	Average	Range
100	1225	615-1990
200	749.4	295-824
325	480.9	190-531

Pada Gambar 4.1 hingga 4.3 di atas diketahui bahwa persebarannya tidak sesuai dengan hasil dari *Z-average* nya. Perbedaan ini dikarenakan koloid sulfur yang dipakai dalam pengujian tidak terlarut menjadi koloid dengan sempurna. Masih ada gumpalan sulfur di atasnya dikarenakan sulfur dilarutkan dengan air yang sifatnya sama sama non-polar. Berdasarkan analisis menggunakan aplikasi *Zetasizer Software* dan *Origin*, dapat diketahui pada sampel sulfur yang akan digunakan untuk sintesis memiliki ukuran yang hampir sama dengan konversi mesh mikron pada Tabel 2.2. Sesuai dengan Gambar 4.1, hasil pengujian PSA pada sampel 100 mesh memiliki ukuran 1225 d.nm atau sekitar 122,5, sampel 200 mesh memiliki ukuran 749,5 d.nm atau sekitar 75 d.µm serta sampel 325 mesh memiliki ukuran

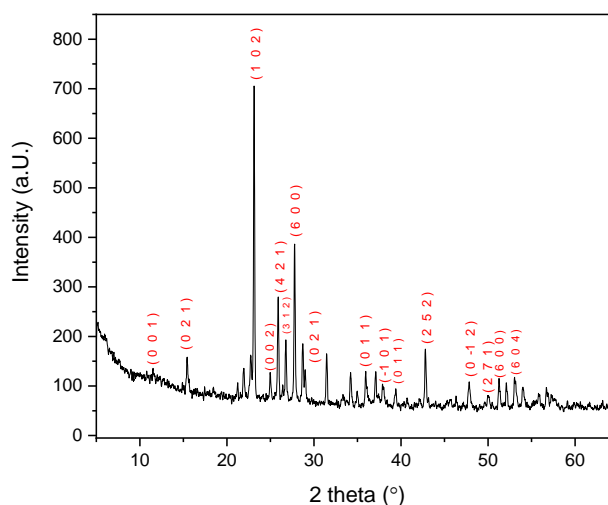
480,9 d.nm atau 48,1 d.μm. Pada sampel 100 mesh memiliki perbedaan dengan tabel konversi mesh mikron.

4.1.2 Hasil Karakterisasi X-ray Diffraction Sulfur/MnO₂

Pengujian ini dilakukan di Divisi Karakterisasi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) bertujuan untuk mengetahui fasa, senyawa serta struktur kristal pada sampel sulfur/MnO₂. Pengujian ini dilakukan ketika sintesis Sulfur/MnO₂ dengan variasi ukuran 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh selesai. Sampel yang telah selesai dan dikeringkan tersebut kemudian diuji dengan alat XRD PANalytical dengan range sudut 5°-90° serta panjang gelombang 1.54060Å dengan pengaturan generator menggunakan arus sebesar 30 mA dan voltase 40 kV. Setelah hasil pengujian telah ada, kemudian data diolah menggunakan aplikasi High Score Plus untuk mengetahui fasa-fasa dan struktur kristal yang terbentuk pada sampel. Setelah mengetahui fasa dan struktur kristal yang terbentuk kemudian dicocokkan dengan COD dan ICCD untuk referensi data. Untuk sulfur menggunakan ICCD 01-083-2284 dan birnessite menggunakan COD 96-901-0157.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Karakterisasi XRD pada Sampel Sulfur / MnO₂



Gambar 4.6 Hasil Pengujian XRD pada Sampel Sulfur/MnO₂ 325 Mesh

Dari Gambar 4.2 diatas dapat dilihat sampel Sulfur/MnO₂ sudah terbentuk fasa δ -MnO₂ dan Sulfur. Berdasarkan analisis data pada *High Score*, fasa δ -MnO₂ yang terbentuk memiliki puncak tertinggi yang tertanda “●” pada $2\theta = 12.481$ dengan notasi (hkl) (0 0 1) . serta ditemukan 5 peak fasa δ -MnO₂ lainnya yaitu pada $2\theta = 25.093$ dengan notasi (hkl) (0 0 2), pada $2\theta = 35.441$ dengan notasi (hkl) (0 1 1), pada $2\theta = 37.205$ dengan notasi (hkl) (-1 0 1), pada $2\theta = 39.458$ dengan notasi (hkl) (0 -1 1) serta pada $2\theta = 47.79$ dengan notasi (hkl) (0 -1 2). Pada ketiga sampel tidak memperlihatkan perbedaan puncak yang signifikan. Intensitas fasa δ -MnO₂ terbilang kecil, hal ini dikarenakan kandungan MnO₂ pada spesimen kecil sebagai lapisan *coating* yang bertujuan untuk mengikat polisulfida yang terbentuk pada baterai litium sulfur (Liang & Nazar, 2016). Perhitungan *crystallite size* menggunakan puncak tertinggi dengan persamaan 3.1 dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Tabel Perhitungan Ukuran kristal pada Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh

Variasi Ukuran Sulfur/MnO ₂	θ (°)	FWHM (°)	0.9λ (Å)	B (rad)	Cos θ	D (nm)
100 mesh	11.640	0.0669	1.3869	0.00117	0.60074	197.7
200 mesh	11.565	0.1004	1.3869	0.00175	0.53915	146.8
325 mesh	11.561	0.1673	1.3869	0.00292	0.5362	88.6

Dari hasil perhitungan ukuran kristal ini, didapatkan bahwa ukuran kristal dipengaruhi oleh nilai FWHM-nya serta berbanding terbalik dengan FWHM. Ketika nilai FWHM semakin besar maka nilai ukuran kristal semakin kecil. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa variasi sulfur/MnO₂ 325 mesh memiliki ukuran kristal paling kecil sebesar 886Å. Ukuran kristal lebih besar pada variasi ukuran 100 mesh dan 200 mesh yaitu masing-masing sebesar 1977Å dan 1468Å. Pada perhitungan ini, didapatkan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil memiliki ukuran kristal yang kecil juga. Ukuran kristal ini, berpengaruh terhadap bagaimana spesimen menghantarkan elektron. Semakin kecil ukuran kristalnya, maka semakin mudah pula spesimen untuk menghantarkan elektron (Minnici et al., 2018).

Pada pengujian XRD dapat dilihat bahwa sulfur memiliki struktur kristal *orthorhombic*. Oleh karena itu, pada sampel sulfur/MnO₂ perlu diketahui juga bagaimana struktur kristal yang terbentuk. Struktur kristal ini dapat diketahui dengan menghitung parameter kisi dari nilai a, b dan c dengan persamaan 3.2. Hasil dari perhitungan parameter kisi pada spesimen Sulfur/MnO₂ dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.3 Tabel Perhitungan Parameter Kisi pada Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh

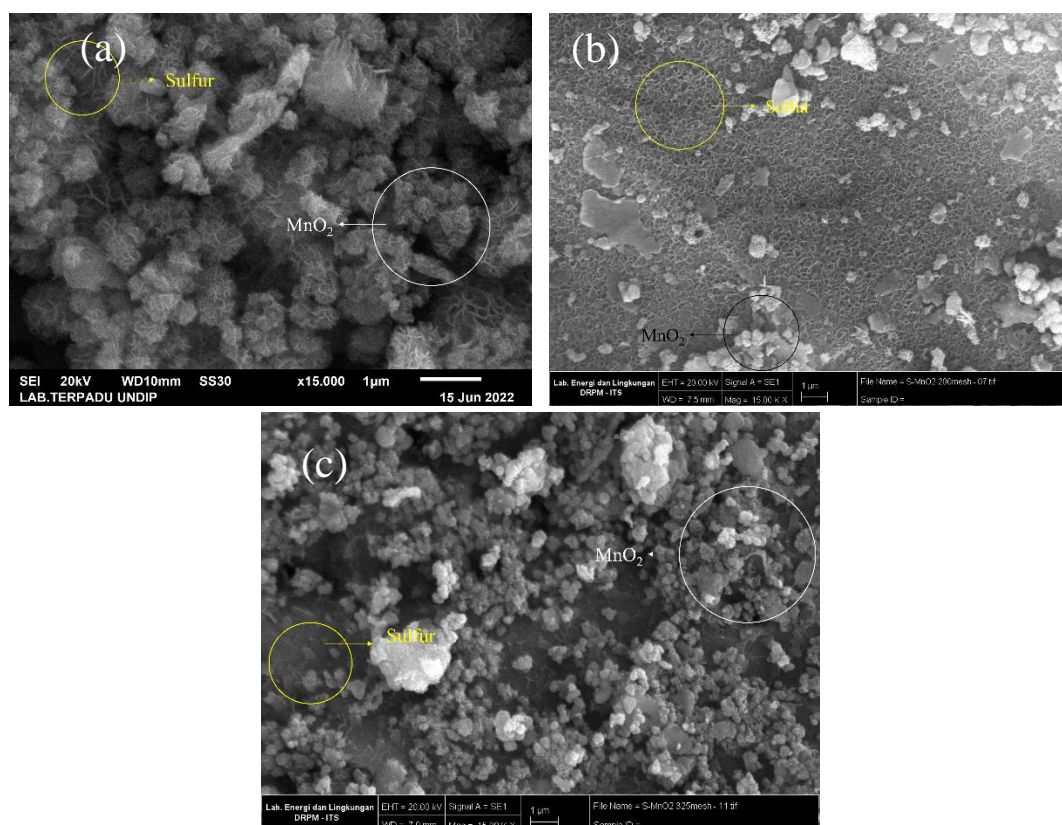
Parameter Kisi	Referensi sulfur	Variasi Ukuran Partikel		
	01-083-2284	100 Mesh	200 Mesh	325 Mesh
a	10.464	10.452	10.484	10.492
b	12.868	12.623	12.779	12.798
c	24.487	24.297	24.296	24.169
c/a	2.3401185	2.32463	2.31744	2.30356

Berdasarkan perhitungan parameter kisi pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa nilai a, b, dan c hasil penelitian tidak banyak perbedaan dengan referensi acuan sulfur. Hal ini, dapat menunjukkan bahwa struktur kristal dari spesimen Sulfur/MnO₂ merupakan struktur *orthorhombic*. Struktur ini juga sesuai dengan jurnal Liang, 2016. Pada hasil a, b dan c diatas,

dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran partikelnya semakin besar nilai parameter kisinya. Sehingga, dapat ditunjukkan bahwa semakin besar ukuran partikel maka ukuran kisi-nya juga semakin besar.

4.1.3 Hasil Karakterisasi Morfologi *Scanning Electron Microscopy*

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ini digunakan untuk mengetahui bagaimana bentuk permukaan sampel serbuk sulfur/ MnO_2 variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh serta melihat bagaimana hasil *coating* $\delta\text{-MnO}_2$ pada sulfur. Pengujian ini juga digunakan untuk mencari range diameter partikel yang terbentuk dengan aplikasi *ImageJ*. Pengujian SEM ini dilakukan ketika sintesis serbuk specimen sulfur/ MnO_2 variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh telah selesai. Pengujian SEM ini menggunakan 4 perbesaran yaitu perbesaran $5.000\times$, $15.000\times$, $30.000\times$ dan $50.000\times$. Perbesaran ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana morfologi permukaan sulfur dan $\delta\text{-MnO}_2$ pada sulfur/ MnO_2 variasi 100 mesh, 200 mesh serta 325 mesh.



Gambar 4.7 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (a) S/ MnO_2 100 mesh (b) S/ MnO_2 200 mesh dan (c) S/ MnO_2 325 mesh

Hasil SEM pada spesimen Sulfur/ MnO_2 variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh pada Gambar 4.7 (a) (b) dan (c) sesuai dengan jurnal Liang pada tahun 2016. Cangkang seragam yang mengelilingi sulfur menunjukkan bahwa terdapat lamellar $\delta\text{-MnO}_2$ pada permukaan sulfur. Hal ini membuktikan bahwa sintesis yang dilakukan pada penelitian ini dapat membentuk Sulfur/ MnO_2 . Dapat dilihat pada Gambar 4.7 (a), (b) dan (c) morfologi dari senyawa $\delta\text{-MnO}_2$ secara umum telah terbentuk homogen pada variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh. Pada sulfur/ MnO_2 variasi 100 mesh memiliki diameter parameter dengan range 0.376-44.231 nm. Pada sulfur/ MnO_2 variasi 200 mesh memiliki diameter

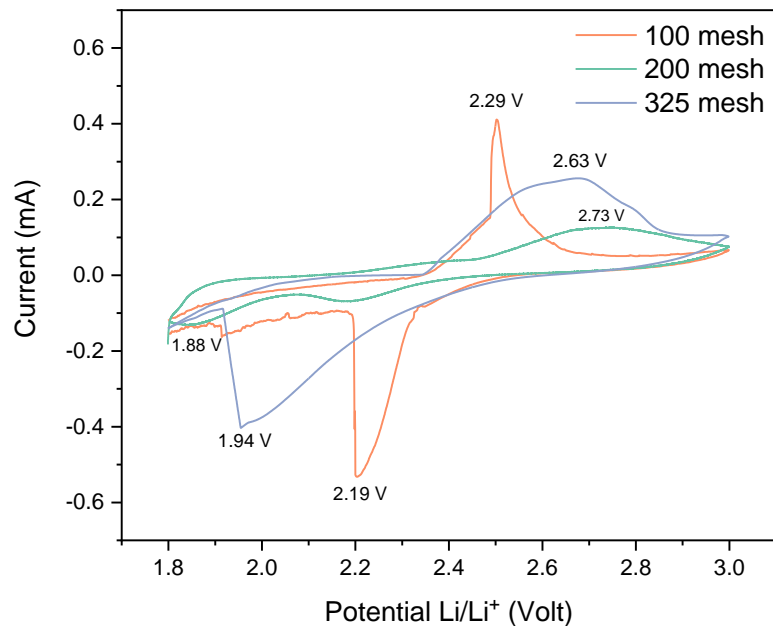
parameter dengan range 21.915-43.831 nm serta pada sulfur/MnO₂ variasi 325 mesh memiliki diameter parameter dengan range 5.017-43.741 nm.

4.2 Hasil Analisis Pengujian Performa Elektrokimia

Hasil Pengujian karakterisasi dari penelitian baterai litium sulfur digunakan untuk mengetahui bagaimana hasil sintesis serta morfologi dari specimen Sulfur/MnO₂. Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh ukuran partikel dengan variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh. Pengujian ini dilakukan dengan 3 pengujian yaitu PSA, XRD, serta SEM

4.2.1 Hasil Pengujian *Cyclic Voltammetry*

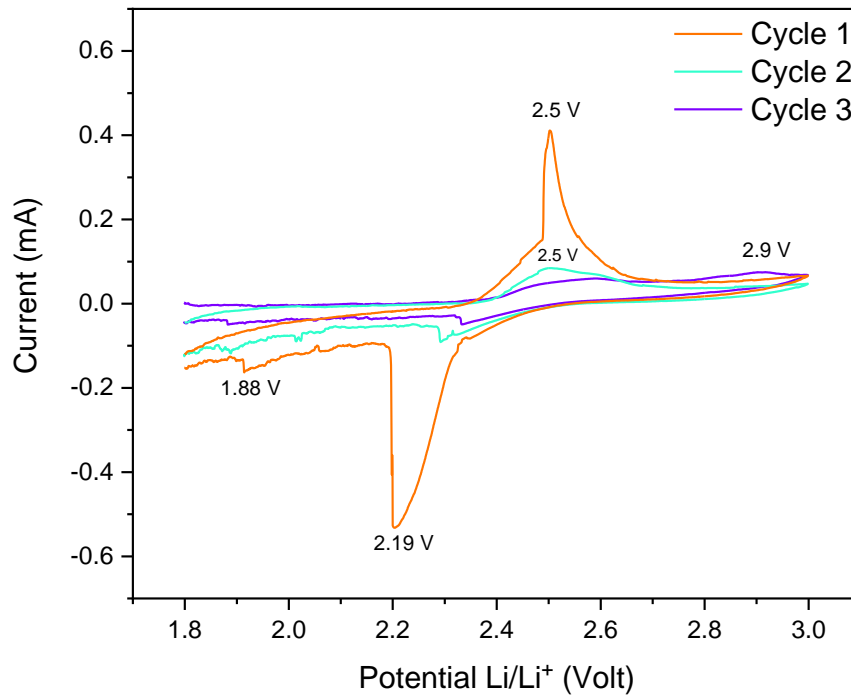
Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) bertujuan untuk mengetahui reaksi oksidasi dan reduksi pada sel baterai dengan cara memperlihatkan kurva voltammogram. Pengujian CV ini menggunakan alat uji *Corrtest* dengan pengaturan *scan rate* 0.1 mV/s, nilai tegangan 1.8-3 V dan hasil dari alat uji itu diolah menggunakan aplikasi *CST Studio*. Bentuk puncak reduksi dan oksidasi dalam grafik CV yang telah diolah menunjukkan kinetic elektrokimia dari ion Li⁺. Ketika grafik memiliki puncak yang tajam, lurus dan lebar menandakan proses reaksi Li⁺ cepat dan ketika grafik memiliki puncak yang yang lebar menandakan proses reaksi Li⁺ lambat (Yoo et al., 2014). Pengujian ini menghasilkan grafik yang menginterpretasikan hubungan arus (A) dengan tegangan (V). berikut merupakan hasil pengujian CV dari ketiga variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh, Sulfur/MnO₂ 200 mesh dan Sulfur/MnO₂ 325 mesh.



Gambar 4.8 Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh, Sulfur/MnO₂ 200 mesh dan Sulfur/MnO₂ 325 mesh

Berdasarkan Gambar 4.8 hasil pengujian CV yang disajikan dalam grafik diatas, terlihat bahwa perbandingan CV pada variasi ukuran partikel 100 mesh, 200 mesh dan 325 didapatkan bahwa intensitas arus oksidasi dan reduksinya serta jumlah oksidasi dan reduksi setiap siklus. Terlihat bahwa Sulfur/MnO₂ 2 ukuran 100 mesh memiliki arus oksidasi dan reduksi tertinggi yaitu untuk reaksi reduksi sebesar 2.19 Volt pada arus -0.532 mA serta reaksi oksidasi sebesar 2.29 Volt pada arus 0.411 mA. Pada grafik diatas juga diketahui bahwa pada Sulfur/MnO₂ 100 mesh dan 325 mesh memiliki 1 peak oksidasi dan reduksi,

sedangkan pada sulfur/MnO₂ 200 mesh memiliki 1 peak oksidasi dan 2 peak reduksi. Untuk hasil variasi lain dapat dilihat pada Gambar 4.9, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 berikut ini.

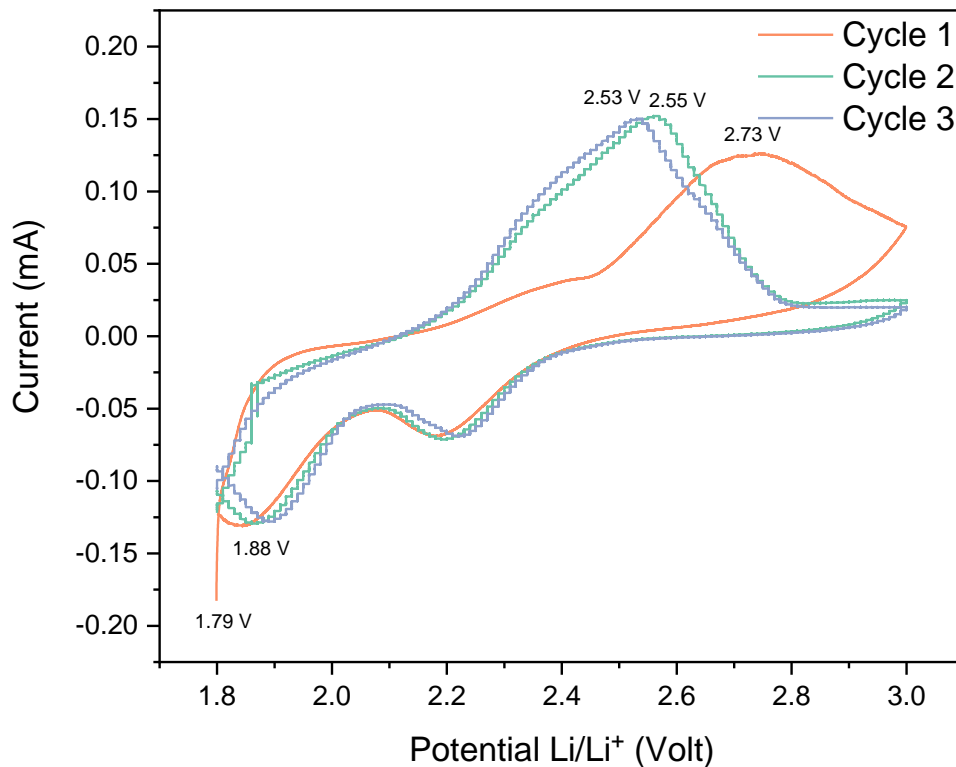


Gambar 4.9 Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh

Berdasarkan Gambar 4.9 terdapat penurunan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1-3. Pada *cycle* pertama intensitas arus dari 0.411 mA kemudian turun pada *cycle* 2 menjadi 0.08445 mA dan menurun pada *cycle* 3 menjadi 0.0452 mA. Puncak reduksi juga mengalami hal yang sama yaitu penurunan yang cukup signifikan. Pada *cycle* 1 puncak terdapat pada -0.532 mA kemudian turun menjadi -0.125 mA pada *cycle* 2 kemudian pada *cycle* 3 sebesar -0.0455 mA. Pada variasi ini terjadi lonjakan oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1 dan selanjutnya menurun hal ini dikarenakan saat *cycle* 1 ion litium dapat berdifusi dengan baik kemudian saat *cycle* 2 dan 3 kemampuan berdifusi ion litium menurun yang dikarenakan luas permukaan pada variasi ini kecil sehingga listrik yang disimpan sedikit.

Tabel 4.4 Nilai Intensitas Puncak Voltase dan Arus pada Spesimen Sulfur/MnO₂ 100 Mesh

Sulfur/ MnO ₂ 100 Mesh	Intensitas Puncak			
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)
<i>Cycle</i> 1	2.5	0.411	2.19	-0.532
<i>Cycle</i> 2	2.5	0.08445	1.89	-0.125
<i>Cycle</i> 3	2.9	0.0452	1.89	-0.0455

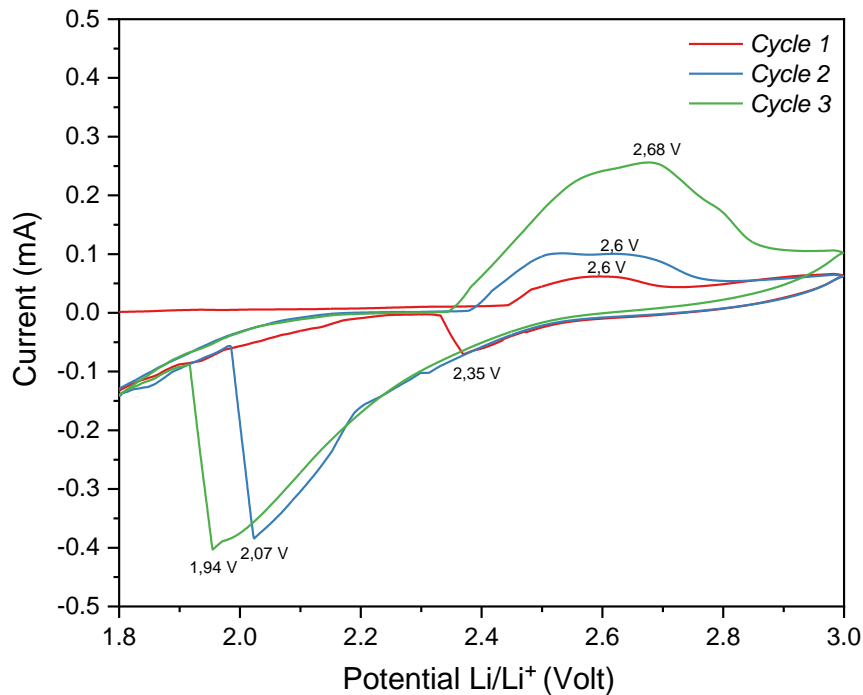


Gambar 4.10 Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO₂ 200 mesh

Berdasarkan Gambar 4.10 terdapat kenaikan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1-3. Pada *cycle* pertama intensitas arus dari 0.132 mA kemudian turun pada *cycle* 2 menjadi 0.152 mA dan menurun pada *cycle* 3 menjadi 0.15 mA. Puncak reduksi juga mengalami hal yang sama yaitu kenaikan yang tidak begitu terlihat. Pada *cycle* 1 puncak terdapat pada -0.119 mA kemudian turun menjadi -0.129 mA pada *cycle* 2 kemudian pada *cycle* 3 sebesar -0.128 mA. Pada variasi ini terjadi 2 peak reduksi karena saat *discharge* sulfur membentuk dua produk yang berbeda atau biasanya disebut *disproportionation*.

Tabel 4.5 Nilai Intensitas Puncak Voltase dan Arus pada Spesimen Sulfur/MnO₂ 200 Mesh

Sulfur/MnO ₂ 100 Mesh	Intensitas Puncak			
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)
Cycle 1	2.73	0.132	1.79	-0.119
Cycle 2	2.55	0.152	1.88	-0.129
Cycle 3	2.53	0.15	1.89	-0.128



Gambar 4.11 Hasil Pengujian CV pada Variasi Sulfur/MnO₂ 325 mesh

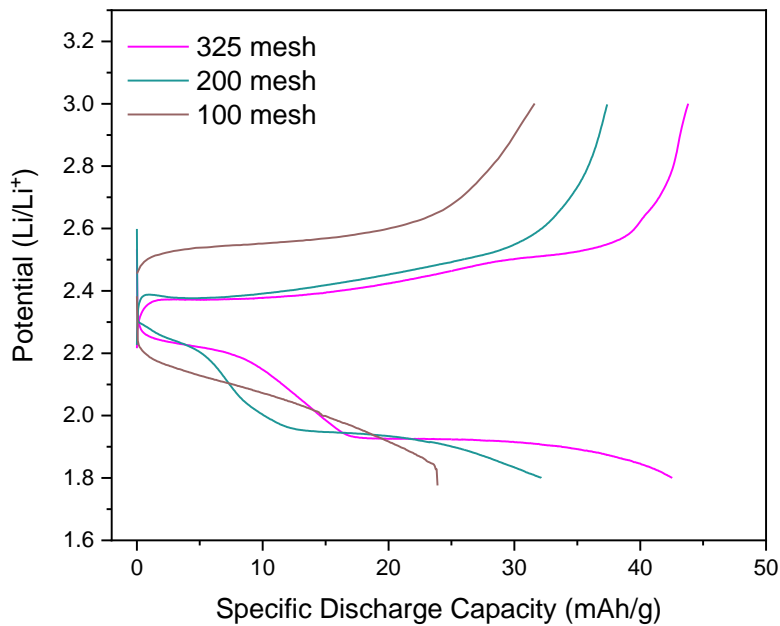
Berdasarkan Gambar 4.11 terdapat kenaikan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1-3. Pada *cycle* pertama intensitas arus dari 0.06 mA kemudian turun pada *cycle* 2 menjadi 0.09 mA dan naik menjadi 0.25 mA pada *cycle* 3. Puncak reduksi juga mengalami hal yang sama yaitu kenaikan yang tidak begitu terlihat. Pada *cycle* 1 puncak terdapat pada -0.07 mA kemudian turun menjadi -0.4 mA pada *cycle* 2 kemudian pada *cycle* 3 sebesar -0.423 mA.

Tabel 4.6 Nilai Intensitas Puncak Voltase dan Arus pada Spesimen Sulfur/MnO₂ 100 Mesh

Sulfur/MnO ₂ 100 Mesh	Intensitas Puncak			
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)
<i>Cycle</i> 1	2.6	0.06	2.35	-0.070
<i>Cycle</i> 2	2.6	0.09	2.07	-0.400
<i>Cycle</i> 3	2.68	0.25	1.94	-0.423

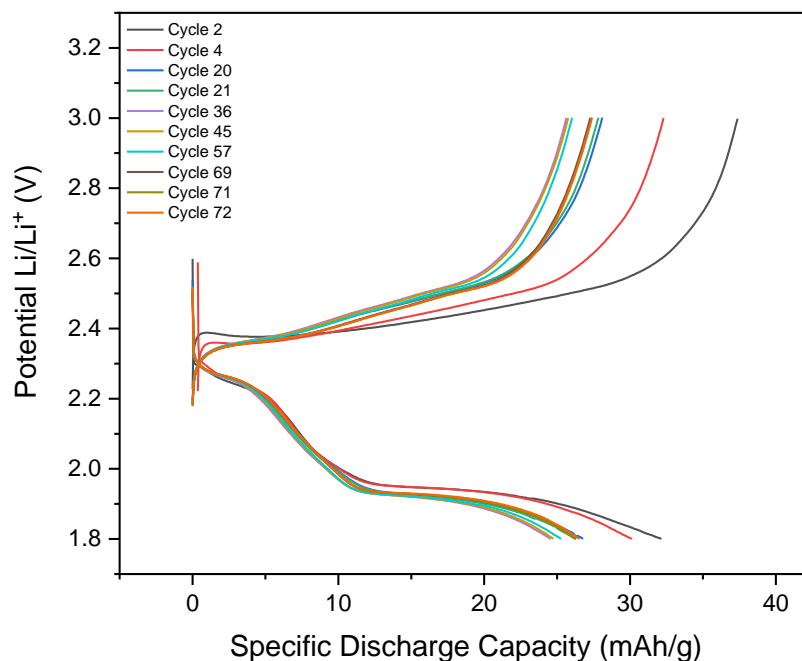
4.2.2 Hasil Pengujian *Galvanic Charge-Discharge*

Pengujian *Galvanic Charge/Discharge* (GCD) digunakan untuk mengetahui kapasitas serta sifat dari *cycle* pada komponen sel baterai. Komponen yang digunakan pada baterai kali ini adalah katoda Sulfur/MnO₂ dengan current corrector aluminium foil, serta elektrolit LiTFSI. Pengujian ini dilakukan dengan alat *Neware*. Pengujian ini dilakukan secara berulang hingga mencapai *cycle* 100 dengan arus yang sama. Sehingga nanti akan didapatkan grafik polarisasi pada masing-masing specimen. Grafik ini digunakan untuk mengetahui sifat dari baterai serta kapasitasnya yang diolah secara manual menggunakan aplikasi *Origin*.

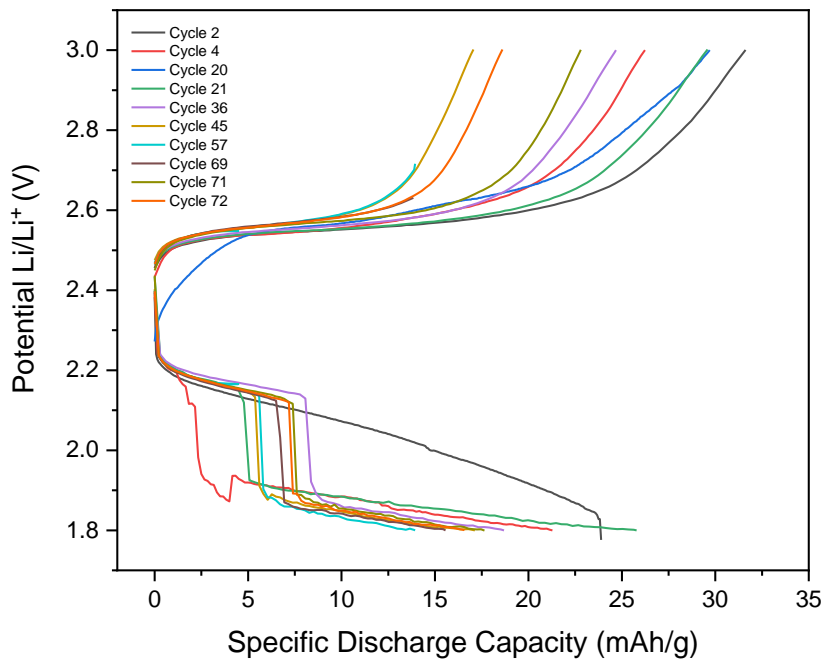


Gambar 4.12 Hasil Pengujian GCD di *Cycle 2* pada Variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh, Sulfur/MnO₂ 200 mesh dan Sulfur/MnO₂ 325 mesh

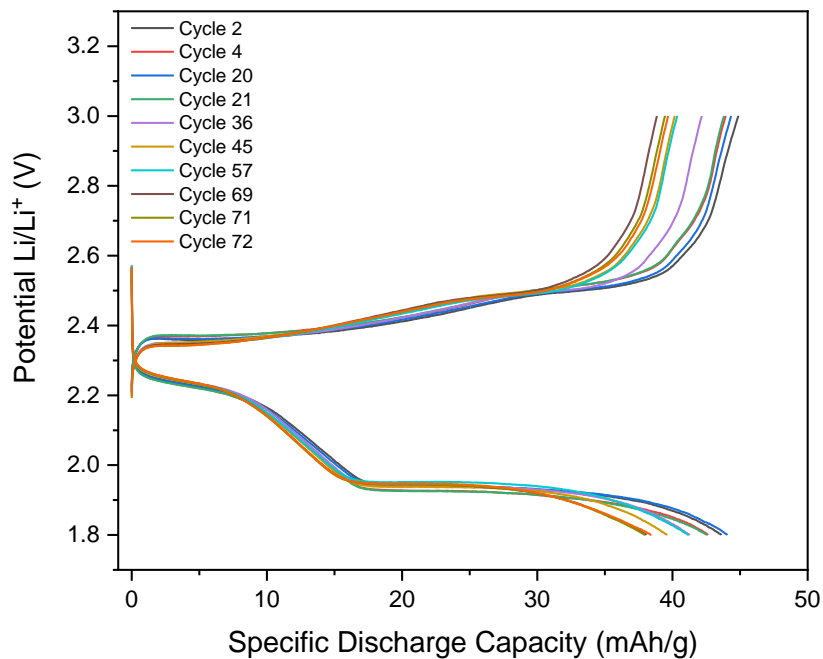
Berdasarkan Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada *cycle* ke-2 baterai spesimen, baterai variasi Sulfur/MnO₂ 325 mesh memiliki kapasitas yang paling besar saat *Charge* maupun *Discharge* yaitu sebesar 44.864 mAh/gram dan 43.262 mAh/gram. Pada baterai variasi Sulfur/MnO₂ 200 mesh memiliki kapasitas *Charge* terbesar yaitu 37.374 mAh/gram serta kapasitas *discharge* sebesar 32.142 mAh/gram. Pada variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh memiliki kapasitas *charge* dan *discharge* paling kecil yaitu sebesar 31.616 mAh/gram dan 23.891 mAh/gram. Untuk lebih jelasnya grafik tiap variasi dapat dilihat pada Gambar 4.10, Gambar 4.11 dan Gambar 4.12



Gambar 4.13 Grafik Pengujian GCD pada Variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh



Gambar 4.14 Grafik Pengujian GCD pada Variasi Sulfur/MnO₂ 200 mesh



Gambar 4.15 Grafik Pengujian GCD pada Variasi Sulfur/MnO₂ 325 mesh

Berdasarkan Gambar 4.10, hasil dari pengujian GCD pada variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh pada *cycle 2* memiliki kapasitas *charge discharge* terbesar yaitu sebesar 31.616 mAh/gram dan 23.891 mAh/gram serta pada *cycle 72* memiliki kapasitas terkecil yaitu sebesar 27.38 mAh/gram dan 28.522 mAh/gram. Pada variasi Sulfur/MnO₂ 200 mesh sama sama memiliki kapasitas terbesar pada *cycle 2* dan kapasitas terkecil pada *cycle 72* yaitu sebesar gram 37.374 mAh/gram dan 32.142 mAh/gram serta 18.606 mAh/gram dan 16.575 mAh/gram. Pada variasi 325 mesh kapasitas terbesar *charge-discharge* yautu 44.864

mAh/gram dan 43.262 mAh/gram serta kapasitas terkecil *charge-discharge* yaitu 39.6775 mAh/gram dan 38.442 mAh/gram. Pada ketiga variasi sama sama mengalami *capacity loss* dari *cycle 2* hingga *cycle 72*. Tabel 4.6 dibawah ini

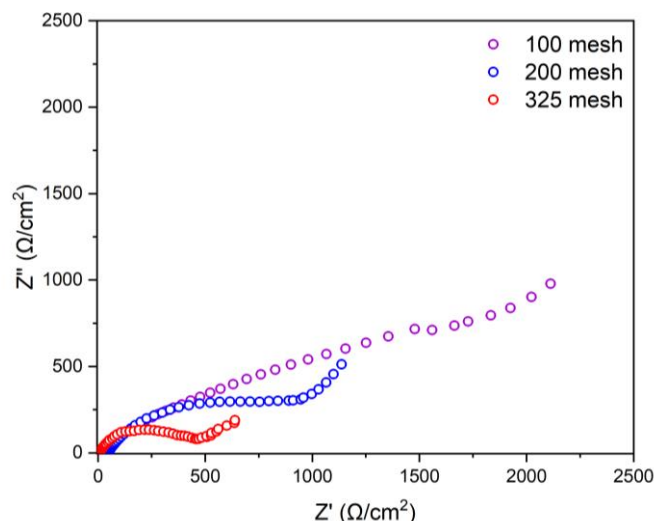
Tabel 4.7 Tabel Perbandingan Kapasitas dan *Capacity Loss* Sulfur/MnO₂ Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh

Variasi Sulfur/MnO ₂	Kapasitas (mAh/gram)		<i>Capacity Loss</i> (%)
	<i>Cycle 2</i>	<i>Cycle 72</i>	
100 mesh	23.891	28.522	16.32
200 mesh	32.142	16.575	48.43
325 mesh	43.262	38.442	11.14

Jika dilihat dari *capacity loss* baterai spesimen ini, didapatkan bahwa baterai yang paling stabil adalah baterai dengan variasi Sulfur/ MnO₂ 325 mesh dengan presentasi *capacity loss* sebesar 11.41%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi ini lebih stabil dibandingkan dengan baterai lainnya. Variasi Sulfur/ MnO₂ 325 mesh juga memiliki kapasitas yang paling besar hal ini dikarenakan ukuran partikel berpengaruh terhadap kapasitansi baterai. Semakin kecil ukuran partikelnya maka kapasitasnya semakin besar. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian kali ini.

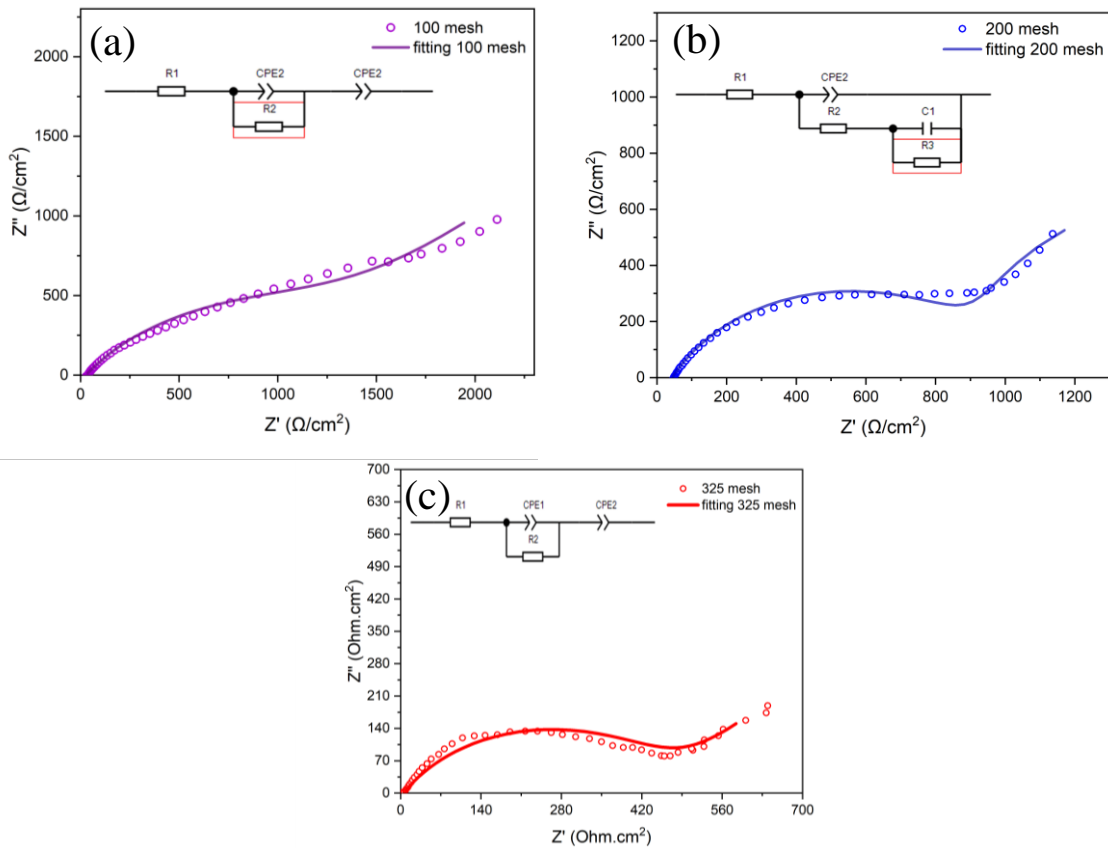
4.2.3 Hasil Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) bertujuan untuk mengetahui nilai impedansi pada baterai serta proses interkalasi ion litium yang terjadi pada antara *interface* pada katoda Sulfur/MnO₂ serta larutan elektrolit LiTFSI. Bentuk grafik dari hasil pengujian EIS berbentuk *semicircle* dan slopes. *Nyquist plot* menunjukkan hubungan antara impedansi real (Z') pada sumbu-X dengan impedansi imajiner (Z'') pada sumbu-Y dengan frekuensi 10-1,000,000 Hz dan polarization AC Amplitude 5mV. Hasil dari pengujian EIS ini akan menghasilkan R_s dan R_{ct} baterai. Hasil EIS juga dipengaruhi oleh karakterisasi baterai dari pengujian XRD, perhitungan ukuran kristal serta morfologi dari pengujian SEM. Hasil Uji EIS Sulfur/MnO₂ variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh dapat dilihat di Gambar 4.5 dibawah ini



Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengujian EIS pada Sulfur/MnO₂ dengan variasi 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semua grafik EIS membentuk *semicircle*. Grafik tersebut dianalisis dengan menggunakan rangkaian model *equivalent circuit* yang terdiri dari R_s , R_{ct} , C dan CPE. *Nyquist plot* dipasang ke dalam model sirkuit elektronik pada tiap variasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah. R_s merupakan resistansi elektrolit (setara dengan frekuensi tinggi pada Z'), R_{ct} merupakan resistans transfer muatan (setara dengan diameter setengah lingkaran), C adalah kapasitor atau kapasitansi permukaan serta CPE merupakan elemen fase konstan.



Gambar 4.17 Hasil Pengujian EIS serta *Equivalent Circuit* (a) 100 mesh (b) 200 mesh dan (c) 325 mesh

Dari hasil *equivalent circuit* tiap variasi ini dapat diketahui nilai R_s dan R_{ct} nya yang ditampilkan pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.8 Tabel Perbandingan R_s dan R_{ct} pada Variasi 100 Mesh, 200 Mesh dan 325 Mesh

Variasi Ukuran Partikel	R_s (Ohm)	R_{ct} (Ohm)
100 mesh	26.756	1200
200 mesh	92.428	941.28
325 mesh	4.8828	460.62

Berdasarkan Tabel 4.3 serta Tabel 4.2 didapatkan bahwa ukuran kristal berpengaruh terhadap besarnya Rct. Dapat dilihat pada sampel Sulfur/MnO₂ variasi 325 mesh memiliki ukuran kristal yang rendah dan nilai Rct yang paling rendah sebesar 460.62 Ohm diantara variasi lainnya yaitu pada Sulfur/MnO₂ variasi 100 mesh sebesar 1200 Ohm serta Sulfur/MnO₂ variasi 200 mesh sebesar 941.28 Ohm. Nilai Rct bertujuan untuk mengetahui kemampuan spesimen untuk mentransfer elektron. Karena, semakin tinggi nilai Rct, proses transfer elektron akan semakin sulit. Spesimen dengan nilai Rct paling rendah merupakan spesimen yang memiliki tingkat proses de/interkalasi yang paling baik. Hal ini membuktikan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka resistansi pada baterai semakin kecil sehingga dapat dilihat baterai Sulfur/MnO₂ variasi 325 mesh yang paling baik.

Dari nilai Rct yang dihasilkan ini dapat diketahui pula nilai konduktivitas dari tiap variasi Sulfur/MnO₂ 100 mesh, 200 mesh dan 325 mesh dengan persamaan 3.3. Nilai konduktivitas dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Tabel Perhitungan Konduktivitas

Variasi	Nilai Konduktivitas ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)
100 mesh	2.36×10^{-3}
200 mesh	3.61×10^{-3}
325 mesh	6.15×10^{-3}

Pengujian EIS ini memperkuat alasan dari pengujian performa elektrokimia lainnya. Berdasarkan hasil pengujian CV performa elektrokimia yang paling baik adalah baterai dengan variasi Sulfur/MnO₂ 325 mesh. Hasil dari pengujian GCD pada juga variasi Sulfur/MnO₂ 325 mesh yang memiliki kapasitas besar dan *capacity loss* yang kecil. Pengujian EIS ini memperkuat bahwasannya variasi Sulfur/MnO₂ 325 mesh merupakan baterai yang direkomendasikan untuk baterai litium sulfur karena Rct yang dimilikinya paling kecil.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian tugas akhir ini bahwa telah berhasil disintesis bahan katoda Sulfur/MnO₂ untuk baterai lithium sulfur dengan metode sonikasi dan stirring. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel sulfur yang digunakan akan memberikan efek terhadap ukuran kristal, morfologi serta pengaruh performa elektrokimia dari baterai tersebut. Baterai Sulfur/MnO₂ 325 mesh memiliki ukuran kristal terkecil serta memiliki morfologi yang baik. Spesimen ini memiliki kapasitas yang paling besar yaitu kapasitas *charge* 44.864 mAh/gram dan kapasitas *discharge* 43.262 mAh/gram pada *cycle* kedua serta kapasitas pada *cycle* 72 *charge-discharge* sebesar 39.6775 mAh/gram dan 38.442 mAh/gram. Nilai Rct baterai Sulfur/MnO₂ 325 mesh juga paling kecil yaitu sebesar 460.62 dengan nilai konduktivitas sebesar $6.15 \times 10^{-3} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. Tingkat kristalinitas yang tinggi dan diameter partikel yang kecil menjadikan semakin luas permukaannya, sehingga meningkatkan kapasitas dan intensitas oksidasi reduksi dari baterai lithium sulfur. Dari hasil yang didapat memperlihatkan Sulfur/MnO₂ dengan variasi ukuran partikel 325 mesh memiliki potensi yang besar sebagai material katoda untuk baterai litium sulfur.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan:

1. Sulfur yang digunakan menggunakan ukuran partikel lebih kecil
2. Air sulfur dari hasil sonikasi digunakan saat melarutkan KMnO₄ dengan sulfur saat pengadukan
3. Penyimpanan anoda litium diperhatikan supaya tidak membentuk oksidasi litium

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M. T., Ayu, I., & Pratiwi, P. (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.
- Alif, A., Tetra, O. N., Aziz, H., & Defri, H. (2017). PENGARUH PERLAKUAN SOKLETASI DAN AKTIVATOR KOH TERHADAP KINERJA KARBON AKTIF CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR. *Jurnal Zarah*, 5(2), 38–43.
- American Society for Testing and Matherial. (2013). *Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves I*. <https://doi.org/10.1520/E0011-13>
- Badan Pusat Statistika. (2020). *Konsumsi Listrik per Kapita (MWH/Kapita)*. https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data/0000/data/1156/sdgs_7/1
- Balasubramaniam, B., Singh, N., Verma, S., & Gupta, R. K. (2020). Recycling of Lithium From Li-ion Batteries. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (pp. 546–554). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10764-7>
- Borchardt, L., Martino, J, & Askel, S. (2016). Carbon Materials for Lithium Sulfur Batteries—Ten Critical Questions. In *Chem. Eur.J* (Vol. 22). www.chemeurj.org
- Callister, W. D., & David Rethwisch, J. G. (2014). *MATERIALS SCIENCE and ENGINEERING*.
- Chen, Y., Wang, T., Tian, H., Su, D., Zhang, Q., & Wang, G. (2021). Advances in Lithium–Sulfur Batteries: From Academic Research to Commercial Viability. In *Advanced Materials* (Vol. 33, Issue 29). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/adma.202003666>
- Chen, Z., Hu, Y., Liu, W., Yu, F., Yu, X., Mei, T., Yu, L., & Wang, X. (2021). Three-Dimensional Engineering of Sulfur/MnO₂ Composites for High-Rate Lithium-Sulfur Batteries. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13(32), 38394–38404. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c10958>
- D, P. E., Variasi Binder, P., dan Pemakaian Emulsi terhadap Kinerja Baterai, E., Dhita Pratiwi, E., Haryati, S., & Syarif, N. (2022a). *How to cite: TERHADAP KINERJA BATERAI LITIUUM ION BERBASIS KARBON BATANG KANGKUNG AIR (IPOMOEAE AQUATICA)*. 7(2).
- D, P. E., Variasi Binder, P., dan Pemakaian Emulsi terhadap Kinerja Baterai, E., Dhita Pratiwi, E., Haryati, S., & Syarif, N. (2022b). *TERHADAP KINERJA BATERAI LITIUUM ION BERBASIS KARBON BATANG KANGKUNG AIR (IPOMOEAE AQUATICA)*. 7(2).
- Ge, Y., Chen, P., Zhang, W., Shan, Q., Fang, Y., Chen, N., Yuan, Z., Zhang, Y., & Feng, X. (2020). Shape-controlled MnO₂ as a sulfur host for high performance lithium-sulfur batteries. *New Journal of Chemistry*, 44(26), 11365–11372. <https://doi.org/10.1039/d0nj02306j>
- Ghazi, Z. A., Sun, Z., Sun, C., Qi, F., An, B., Li, F., & Cheng, H. M. (2019). Key Aspects of Lithium Metal Anodes for Lithium Metal Batteries. In *Small* (Vol. 15, Issue 32). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/sml.201900687>
- Grugeron, S., Laruelle, S., Herrera-Urbina, R., Dupont, L., Poizot, P., & Tarascon, J.-M. (2001). Particle Size Effects on the Electrochemical Performance of Copper Oxides toward Lithium. *Journal of The Electrochemical Society*, 148(4), A285. <https://doi.org/10.1149/1.1353566>
- Hooper, A., & Tofield, B. C. (1984). ALL-SOLID-STATE BATTERIES. In *Journal of Power Sources* (Vol. 11).

- Jin, Z., Xie, K., & Hong, X. (2014). Review of electrolyte for lithium sulfur battery. In *Acta Chimica Sinica* (Vol. 72, Issue 1, pp. 11–20). <https://doi.org/10.6023/A13101097>
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020, September 23). *Hingga Juni 2020, Kapasitas Pembangkit di Indonesia 71 GW*. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-juni-2020-kapasitas-pembangkit-di-indonesia-71-gw>
- Khasan, M. U., Baskoro, F., Widodo, A., & Kholis, N. (2021). Analisa Performa Baterai Lithium-air, Lithium-sulfur, All-Solid-State Battery, Lithium-Ion. *Jurnal Teknik Elektro*, *10*, 597–607.
- Lee, J., Hwang, T., Lee, Y., Lee, J. K., & Choi, W. (2015). Coating of sulfur particles with manganese oxide nanowires as a cathode material in lithium-sulfur batteries. *Materials Letters*, *158*, 132–135. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.06.003>
- Li, Q., Ma, Z., Li, J., Liu, Z., Fan, L., Qin, X., & Shao, G. (2020a). Core-Shell-Structured Sulfur Cathode: Ultrathin MnO_2 Nanosheets as the Catalytic Conversion Shell for Lithium Polysulfides in High Sulfur Content Lithium-Sulfur Batteries. *ACS Applied Materials and Interfaces*, *12*(31), 35049–35057. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c09583>
- Li, Q., Ma, Z., Li, J., Liu, Z., Fan, L., Qin, X., & Shao, G. (2020b). Core-Shell-Structured Sulfur Cathode: Ultrathin MnO_2 Nanosheets as the Catalytic Conversion Shell for Lithium Polysulfides in High Sulfur Content Lithium-Sulfur Batteries. *ACS Applied Materials and Interfaces*, *12*(31), 35049–35057. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c09583>
- Li, Y., Shapter, J. G., Cheng, H., Xu, G., & Gao, G. (2021). Recent progress in sulfur cathodes for application to lithium-sulfur batteries. *Particuology*, *58*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.01.008>
- Liang, X., & Nazar, L. F. (2016). In Situ Reactive Assembly of Scalable Core-Shell Sulfur- MnO_2 Composite Cathodes. *ACS Nano*, *10*(4), 4192–4198. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b07458>
- Linden, David., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of batteries*. McGraw-Hill.
- lithium battery*. (n.d.).
- Lu, C.-H., & Lin, S.-W. (2001). *Influence of the particle size on the electrochemical properties of lithium manganese oxide*.
- Minnici, K., Kwon, Y. H., Huie, M. M., de Simon, M. v., Zhang, B., Bock, D. C., Wang, J., Wang, J., Takeuchi, K. J., Takeuchi, E. S., Marschilok, A. C., & Reichmanis, E. (2018). High capacity Li-ion battery anodes: Impact of crystallite size, surface chemistry and PEG-coating. *Electrochimica Acta*, *260*, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.12.010>
- Neng Yulia Ningsih. (2013). *LAPORAN AKHIR PROGRAM KREATIVITAS MAHASISWA*.
- Nevy, & Widya Citra Andini. (2022, February 8). *7 Manfaat Energi Listrik bagi Kehidupan Sehari-Hari*. Orami. <https://www.orami.co.id/magazine/manfaat-energi-listrik/>
- Pangestica Saputry, A., Lestariningsih, T., Astutia, Y., Soedarto, J., LIPI research center, S., Puspitak Serpong, K., & Selatan, T. (2019). Pengaruh Rasio $\text{LiB}:\text{TiO}_2$ dari Lembaran Polimer Elektrolit sebagai Pemisah terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai Lithium-Ion Berbasis LTO. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, *22*(4), 136–142.
- Peng, T., Zhang, N., Wang, Y., Zhao, M., Sun, W., Zhang, D., Yan, H., Lu, Y., & Luo, Y. (2021). Rooting MnO_2 nanosheet on carbon nanoboxes as efficient catalytic host for lithium-sulfur battery. *Journal of Solid State Electrochemistry*, *25*(2), 505–512. <https://doi.org/10.1007/s10008-020-04828-3>
- Perdana, F. A. (2021). Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, *9*(2), 113. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082>

- Qin, F., Zhang, K., Fang, J., Lai, Y., Li, Q., Zhang, Z., & Li, J. (2014). High performance lithium sulfur batteries with a cassava-derived carbon sheet as a polysulfides inhibitor. *New Journal of Chemistry*, 38(9), 4549–4554. <https://doi.org/10.1039/c4nj00701h>
- Reale, P., Panero, S., Scrosati, B., Garche, J., Wohlfahrt-Mehrens, M., & Wachtler, M. (2004). A Safe, Low-Cost, and Sustainable Lithium-Ion Polymer Battery. *Journal of The Electrochemical Society*, 151(12), A2138. <https://doi.org/10.1149/1.1819790>
- Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, H. I., & Hidayat, S. (2016). PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO₄. In *Jurnal Material dan Energi Indonesia* (Vol. 06, Issue 02).
- Sc Mohamed Abdel megeed Ibrahim Said aus Assiut, M. (2015). *Synthesis, grain growth and physical properties of nanoparticulate manganese oxides*.
- Scalbert, J., Clémençon, I., Lecour, P., Braconnier, L., Diehl, F., & Legens, C. (2015). Simultaneous investigation of the structure and surface of a Co/alumina catalyst during Fischer–Tropsch synthesis: discrimination of various phenomena with beneficial or disadvantageous impact on activity. *Catalysis Science & Technology*, 5(8), 4193–4201. <https://doi.org/10.1039/C5CY00556F>
- Sujatno, A., Salam, R., & Dimiyati Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, A. (2015). STUDI SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) UNTUK KARAKTERISASI PROSES OKSIDASI PADUAN ZIRKONIUM. In *Jurnal Forum Nuklir (JFN)* (Vol. 9, Issue 2).
- Sumaryo, S., & Sarwanto, Y. (2020). Pengaruh Ukuran Partikel Dan Kristalit Terhadap Konduktivitas Listrik Bahan Bulk Ba(2-X)La(X)Fe₂O₅ (X = 0, 0.1, 0.3, Dan 0.5) Pada Suhu Kamar. *Faktor Exacta*, 13(2), 88. <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v13i2.6583>
- Tang, Y., Zheng, S., Xu, Y., Xiao, X., Xue, H., & Pang, H. (2018). Advanced batteries based on manganese dioxide and its composites. In *Energy Storage Materials* (Vol. 12, pp. 284–309). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2018.02.010>
- Winter, M., & Brodd, R. J. (2004). What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, 104(10), 4245–4269. <https://doi.org/10.1021/cr020730k>
- Xu, W., Wang, J., Ding, F., Chen, X., Nasybulin, E., Zhang, Y., & Zhang, J. G. (2014). Lithium metal anodes for rechargeable batteries. In *Energy and Environmental Science* (Vol. 7, Issue 2, pp. 513–537). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c3ee40795k>
- Yoo, H. D., Markevich, E., Salitra, G., Sharon, D., & Aurbach, D. (2014). On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion. In *Materials Today* (Vol. 17, Issue 3, pp. 110–121). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2014.02.014>
- Zhao, H., Deng, N., Yan, J., Kang, W., Ju, J., Ruan, Y., Wang, X., Zhuang, X., Li, Q., & Cheng, B. (2018). A review on anode for lithium-sulfur batteries: Progress and prospects. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 347, pp. 343–365). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.112>
- Zhao, Y., Zhang, Y., Gosselink, D., Doan, T. N. L., Sadhu, M., Cheang, H. J., & Chen, P. (2012). Polymer electrolytes for lithium/sulfur batteries. In *Membranes* (Vol. 2, Issue 3, pp. 553–564). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/membranes2030553>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 REFERENSI PEAK XRD

Referensi Peak XRD MnO₂

Name and formula

Reference code: 96-901-0157
Mineral name: Birnessite
Compound name: Birnessite
Common name: Birnessite
Chemical formula: $K_{0.23}Mn_{1.00}O_{2.78}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Anorthic

Space group: P -1

Space group number: 2

a (Å): 2.8474

b (Å): 2.9300

c (Å): 7.2130

Alpha (°): 80.5700

Beta (°): 89.9600

Gamma (°): 61.2280

Calculated density (g/cm³): 3.47

Volume of cell (10⁶ pm³): 51.82

RIR: 6.35

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic

User Mineral

Quality: None ()

Comments

Creation Date: 2/9/2021 1:05:50 PM

Modification Date: 2/9/2021 1:05:50 PM

Structure TIDY:Transformed from space group: "C1-" to space group: "P -1".

Structure TIDY: Applied Transformation matrix:

Structure TIDY: 0.5, -0.5, 0

Structure TIDY: 0.5, 0.5, 0

Structure TIDY: 0, 0, 1

Structure TIDY: TRANS -a+b,-a,c origin 1/2 1/2 1/2

Publication title: Time-resolved structural analysis of K-and Ba-exchange reactions with synthetic Na-birnessite using synchrotron X-ray diffraction Locality: synthetic Sample: K-birnessite COD database code: 9010156

References

Structure:Lopano, C. L., Heaney, P. J., Post, J. E., Hanson, J., Komarneni, S., American Mineralogist, 92, 380 - 387, (2007)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	7.08640	12.481	100.0
2	0	0	2	3.54320	25.113	31.3
3	0	1	1	2.53087	35.440	4.3
4	0	1	0	2.52319	35.551	3.9
5	1	0	0	2.48565	36.106	0.5
6	1	1	0	2.47408	36.281	4.2
7	-1	0	1	2.41471	37.205	9.2
8	1	1	1	2.40644	37.338	7.0
9	0	0	3	2.36213	38.065	0.4
10	1	0	1	2.28200	39.456	3.0
11	-1	-1	1	2.27106	39.654	0.8
12	0	1	2	2.26457	39.772	0.5
13	0	-1	1	2.24818	40.075	12.5
14	-1	0	2	2.12727	42.459	4.5
15	1	1	2	2.12323	42.544	9.3
16	1	0	2	1.95353	46.446	0.9
17	-1	-1	2	1.94541	46.651	1.6
18	0	1	3	1.91145	47.531	2.3

19	0	-1	2	1.89505	47.968	4.5
20	-1	0	3	1.79523	50.819	6.6
21	1	1	3	1.79377	50.863	4.3
22	0	0	4	1.77160	51.546	1.4
23	1	0	3	1.63986	56.034	2.9
24	-1	-1	3	1.63431	56.241	1.3
25	0	1	4	1.59672	57.688	1.4
26	0	-1	3	1.58334	58.222	2.8
27	-1	0	4	1.50856	61.410	1.3
28	1	1	4	1.50827	61.423	1.5
29	-1	1	1	1.46921	63.241	1.5
30	1	2	1	1.46258	63.562	1.6
31	1	-1	0	1.45175	64.092	2.0
32	1	2	0	1.44483	64.436	2.0
33	-1	1	2	1.42584	65.400	2.0
34	2	1	0	1.42368	65.512	1.8
35	1	2	2	1.42026	65.690	1.5
36	0	0	5	1.41728	65.845	0.4
37	2	1	1	1.39625	66.966	1.0
38	-2	-1	1	1.39533	67.016	1.5
39	1	0	4	1.38472	67.599	1.2
40	-1	-1	4	1.38093	67.809	1.5
41	1	-1	1	1.37944	67.892	0.5
42	-1	-2	1	1.37307	68.251	0.8
43	0	1	5	1.34768	69.720	1.5
44	0	-1	4	1.33732	70.340	0.4
45	-1	1	3	1.33593	70.424	0.5
46	1	2	3	1.33173	70.679	0.4
47	2	1	2	1.32181	71.290	0.5
48	-2	-1	2	1.32025	71.387	0.9
49	0	2	1	1.28409	73.723	0.4
50	1	1	5	1.28226	73.845	0.4
51	-1	0	5	1.28208	73.857	0.8
52	1	-1	2	1.27371	74.424	0.4
53	-1	-2	2	1.26835	74.793	0.4
54	0	2	2	1.26543	74.995	0.6
55	0	2	0	1.26160	75.262	0.2
56	-2	0	1	1.24341	76.560	0.3

57	2	0	0	1.24282	76.603	0.8
58	2	2	1	1.23826	76.937	0.4
59	2	2	0	1.23704	77.027	0.3
60	-1	1	4	1.22299	78.078	0.4
61	2	1	3	1.22025	78.287	0.2
62	1	2	4	1.22007	78.301	0.3
63	-2	-1	3	1.21842	78.427	0.3
64	0	2	3	1.21061	79.031	0.8
65	-2	0	2	1.20735	79.287	0.3
66	2	0	1	1.20574	79.414	0.7
67	0	-2	1	1.20392	79.558	0.3
68	2	2	2	1.20322	79.613	0.2
69	-2	-2	1	1.19987	79.880	0.7
70	1	0	5	1.18594	81.012	0.9
71	-1	-1	5	1.18327	81.233	0.7
72	0	0	6	1.18107	81.416	0.7
73	1	-1	3	1.15695	83.488	0.1
74	0	1	6	1.15565	83.603	0.6
75	-1	-2	3	1.15266	83.869	0.2
76	0	-1	5	1.14766	84.319	0.3
77	-2	0	3	1.14329	84.716	0.2
78	2	0	2	1.14100	84.925	0.7
79	2	2	3	1.14028	84.992	0.5
80	-2	-2	2	1.13553	85.432	0.5
81	0	2	4	1.13229	85.735	0.6
82	0	-2	2	1.12409	86.513	0.4
83	2	1	4	1.11067	87.823	0.2
84	-2	-1	4	1.10883	88.006	0.2
85	1	1	6	1.10658	88.232	0.2
86	-1	0	6	1.10623	88.266	0.1
87	1	2	5	1.10462	88.428	0.2

LAMPIRAN 2 REFERENSI PEAK XRD

Referensi Peak XRD Sulfur

Name and formula

Reference code: 01-083-2284

Compound name: Sulfur

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)

Structure: Coppens, P., Yang, Y.W., Blessing, R.H., Cooper, W.
Larsen, F.K., J. Am. Chem. Soc., 99, 760, (1977)

ICSD name: Sulfur

Empirical formula:

S₈

Chemical formula: S₈

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic

Space group: Fddd

Space group number: 70

a (Å): 10.4646

b (Å): 12.8660

c (Å): 24.4860

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Calculated density

(g/cm³): 2.07

Volume of cell (10⁶3296.73

pm³):

Z: 16.00

RIR: 1.94

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted
by ICDD

Subfiles: Alloy, metal or
intermetallic

Corrosion

Inorganic

Modelled

additional pattern

Quality: Calculated (C)

Comments

ICSD collection code: 200454

Creation Date: 1/1/1970

Modification Date: 1/1/1970

ICSD Collection Code: 200454

Temperature Factor: ATF

Calculated Pattern Original Remarks: REM TEM 300.

References

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
-----	---	---	---	-------	-------------	-------

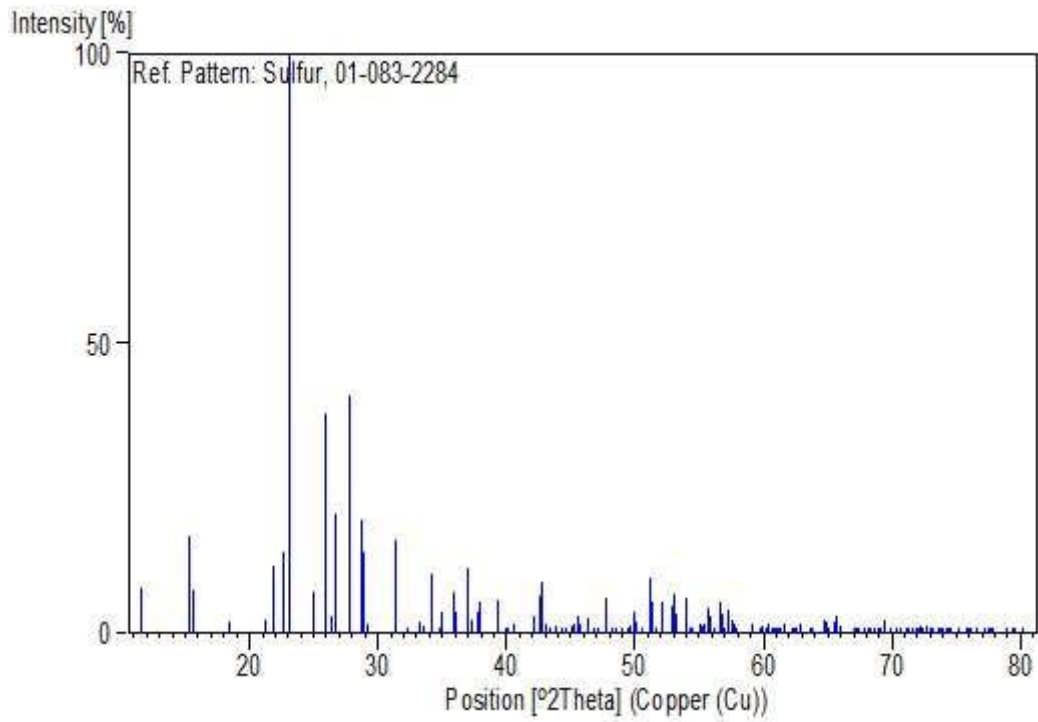
1	1	1	1	7.70584	11.474	7.7
2	1	1	3	5.75590	15.382	16.9
3	0	2	2	5.69473	15.548	7.6
4	2	0	2	4.81133	18.426	1.9
5	1	1	5	4.19333	21.170	2.5
6	2	2	0	4.05917	21.878	11.6
7	1	3	1	3.91723	22.682	14.1
8	2	2	2	3.85292	23.065	100.0
9	1	3	3	3.56888	24.929	7.3
10	0	2	6	3.44607	25.833	38.0
11	2	2	4	3.38299	26.323	3.2
12	3	1	1	3.33528	26.707	20.8
13	2	0	6	3.21794	27.700	40.9
14	3	1	3	3.11229	28.660	19.7
15	1	3	5	3.08316	28.936	14.1
16	0	0	8	3.06075	29.153	1.7
17	0	4	4	2.84736	31.392	16.1
18	3	1	5	2.77431	32.241	0.2
19	3	3	1	2.68973	33.283	1.9
20	2	4	2	2.67399	33.485	1.2
21	1	3	7	2.62407	34.141	10.4
22	4	0	0	2.61615	34.248	8.0
23	1	1	9	2.57966	34.748	0.6
24	3	3	3	2.56861	34.902	3.6
25	2	4	4	2.50102	35.877	7.3
26	1	5	1	2.48586	36.103	3.9
27	3	1	7	2.42569	37.031	11.3
28	4	0	4	2.40567	37.350	2.2
29	4	2	2	2.37729	37.813	3.9
30	3	3	5	2.36855	37.958	5.4
31	0	2	10	2.28843	39.340	5.8
32	4	2	4	2.25327	39.980	0.2
33	1	3	9	2.24394	40.154	0.1
34	1	5	5	2.22577	40.496	0.6
35	2	0	10	2.21729	40.657	1.6
36	1	1	11	2.14676	42.055	3.1
37	3	3	7	2.14038	42.187	2.1
38	3	1	9	2.11608	42.695	6.4
39	0	6	2	2.11218	42.778	8.9
40	2	2	10	2.09667	43.110	1.8
41	4	2	6	2.08371	43.391	0.3
42	5	1	1	2.05845	43.951	1.3
43	2	4	8	2.04155	44.334	1.0
44	4	4	0	2.02958	44.610	0.2
45	3	5	3	2.00715	45.136	1.4
46	5	1	3	2.00226	45.252	1.6
47	4	0	8	1.98869	45.578	3.2
48	2	6	0	1.98417	45.688	1.8

49	2	6	2	1.95861	46.319	2.6
50	1	3	11	1.94142	46.753	0.1
51	4	4	4	1.92646	47.138	1.1
52	5	1	5	1.90336	47.745	6.1
53	4	2	8	1.89997	47.836	5.2
54	2	6	4	1.88749	48.172	0.3
55	5	3	1	1.87537	48.503	0.1
56	3	1	11	1.85682	49.020	0.7
57	1	5	9	1.84035	49.488	0.9
58	1	1	13	1.83480	49.647	1.3
59	2	2	12	1.82311	49.988	3.9
60	4	4	6	1.81725	50.160	2.0
61	1	7	1	1.80536	50.513	0.4
62	3	5	7	1.78192	51.226	9.6
63	5	1	7	1.77875	51.323	5.3
64	1	7	3	1.76734	51.679	0.5
65	5	3	5	1.75584	52.043	5.3
66	6	0	2	1.72667	52.990	4.8
67	0	4	12	1.72303	53.111	6.8
68	3	3	11	1.71912	53.241	3.5
69	1	7	5	1.69799	53.957	6.3
70	0	2	14	1.68773	54.312	0.3
71	6	2	0	1.68333	54.465	0.2
72	2	6	8	1.66494	55.118	1.7
73	1	5	11	1.66212	55.219	1.3
74	5	3	7	1.65660	55.419	1.7
75	3	5	9	1.64776	55.742	4.3
76	3	1	13	1.64377	55.889	3.2
77	2	4	12	1.63658	56.156	0.4
78	6	2	4	1.62250	56.688	5.5
79	5	5	1	1.62011	56.779	3.4
80	0	6	10	1.61318	57.045	0.7
81	4	0	12	1.60897	57.208	1.7
82	1	7	7	1.60624	57.314	4.2
83	4	6	4	1.60037	57.544	2.5
84	3	7	3	1.59474	57.766	1.7
85	5	5	3	1.59246	57.857	0.8
86	4	4	10	1.56259	59.071	1.5
87	5	3	9	1.54593	59.772	0.4
88	2	6	10	1.54158	59.958	1.3
89	4	6	6	1.53641	60.181	1.1
90	0	0	16	1.53038	60.442	1.5
91	2	8	2	1.52529	60.665	0.8
92	6	4	2	1.52132	60.840	0.1
93	3	5	11	1.51615	61.070	0.3
94	5	1	11	1.51420	61.157	0.4
95	1	3	15	1.50966	61.361	0.2
96	1	5	13	1.50409	61.613	1.6
97	2	8	4	1.49098	62.214	0.8

98	6	4	4	1.48727	62.387	0.5
99	7	1	1	1.48223	62.623	0.2
100	6	2	8	1.47498	62.966	1.8
101	7	1	3	1.46097	63.640	0.6
102	4	6	8	1.45814	63.778	0.5
103	4	4	12	1.43898	64.730	2.3
104	5	3	11	1.43526	64.918	2.1
105	2	2	16	1.43198	65.085	0.6
106	0	8	8	1.42252	65.572	1.9
107	4	2	14	1.41820	65.797	2.9
108	1	9	1	1.41404	66.015	1.3
109	1	9	3	1.39554	67.005	0.3
110	5	1	13	1.39099	67.253	0.9
111	6	2	10	1.38716	67.464	0.5
112	5	7	1	1.37885	67.926	0.1
113	2	8	8	1.37312	68.248	0.3
114	6	4	8	1.37007	68.421	0.5
115	7	1	7	1.36662	68.618	0.6
116	4	8	2	1.36063	68.962	0.9
117	7	3	5	1.35641	69.207	1.1
118	1	3	17	1.35306	69.403	2.5
119	6	6	2	1.34487	69.887	0.1
120	4	8	4	1.33700	70.359	0.2
121	5	3	13	1.33090	70.730	0.4
122	4	4	14	1.32492	71.097	0.4
123	4	0	16	1.32096	71.343	0.6
124	2	0	18	1.31657	71.617	0.5
125	1	9	7	1.31286	71.851	0.8
126	7	3	7	1.30906	72.092	0.7
127	3	9	3	1.30574	72.305	1.2
128	7	1	9	1.30344	72.452	0.7
129	6	4	10	1.29948	72.708	1.3
130	4	2	16	1.29396	73.069	0.5
131	7	5	1	1.29083	73.275	0.3
132	5	7	7	1.28455	73.692	0.9
133	3	5	15	1.28196	73.865	0.7
134	0	10	2	1.27955	74.028	0.5
135	3	9	5	1.27701	74.200	0.6
136	1	1	19	1.27280	74.487	0.3
137	3	3	17	1.27147	74.578	0.3
138	0	8	12	1.26309	75.158	0.4
139	8	2	4	1.25463	75.754	0.5
140	4	8	8	1.25051	76.048	0.3
141	7	5	5	1.24938	76.129	0.2
142	2	10	2	1.24293	76.595	0.1
143	7	1	11	1.23499	77.178	0.5
144	5	7	9	1.23085	77.486	0.5
145	2	8	12	1.22782	77.713	0.6
146	1	3	19	1.22572	77.871	0.2

147	7	5	7	1.21249	78.885	0.2
148	8	4	2	1.20582	79.408	0.5
149	4	6	14	1.20343	79.597	0.6
150	4	8	10	1.19564	80.220	0.4

Stick Pattern

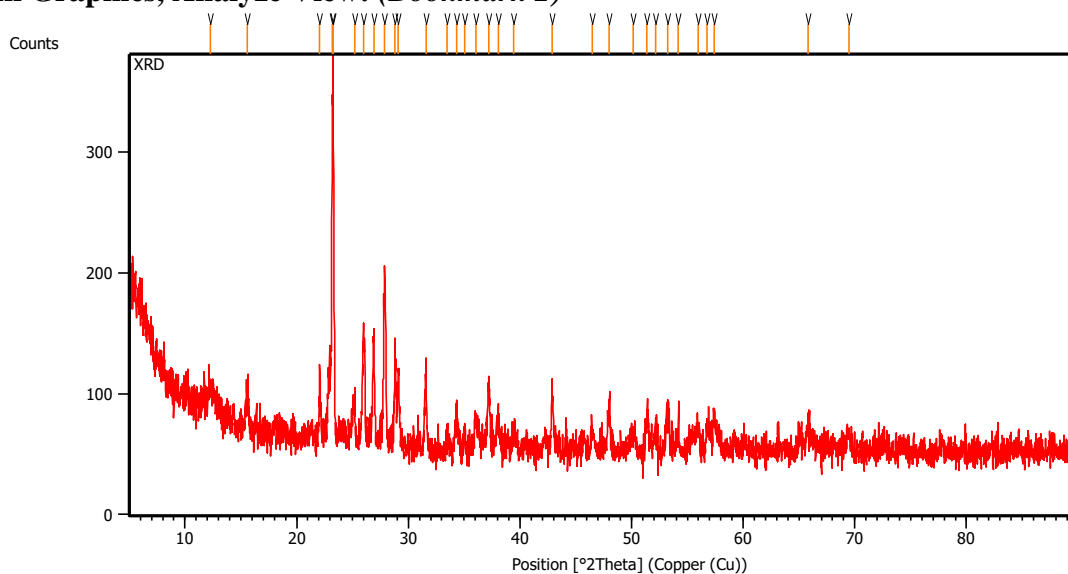


LAMPIRAN 3 HASIL XRD S/MnO₂ 100 MESH

Measurement Conditions: *(Bookmark 1)*

Dataset Name	XRD	
File name	E:\DATA	PENGUJIAN-XRD\Pengujian
2022\Juni\Mila\XRD.rd		
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	6/3/2022 9:00:00 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	

Main Graphics, Analyze View: *(Bookmark 2)*



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
12.2871	18.02	0.8029	7.20371	5.91
15.5781	30.28	0.2007	5.68846	9.93
22.0708	56.00	0.1338	4.02755	18.37
23.1816	253.29	0.1020	3.83384	83.08
23.2775	304.87	0.0669	3.82143	100.00
25.1939	34.29	0.2342	3.53493	11.25
25.9656	86.72	0.2007	3.43159	28.44
26.9057	91.64	0.1171	3.31378	30.06
27.8712	136.12	0.2007	3.20115	44.65
28.8239	77.67	0.1004	3.09748	25.48
29.1158	62.10	0.1338	3.06709	20.37
31.5830	59.95	0.2007	2.83290	19.67
33.5020	11.90	0.3346	2.67489	3.90
34.3186	33.79	0.2676	2.61308	11.09
35.0207	14.74	0.2007	2.56229	4.83
36.0343	27.75	0.2676	2.49251	9.10
37.1826	53.86	0.1673	2.41813	17.67
38.0462	28.29	0.2676	2.36520	9.28
39.4574	14.85	0.4684	2.28381	4.87
42.8940	53.93	0.1338	2.10846	17.69
46.4454	14.64	0.2676	1.95518	4.80
47.9715	33.68	0.2676	1.89648	11.05
50.1196	13.50	0.5353	1.82012	4.43
51.3905	28.19	0.2676	1.77806	9.25
52.1762	14.47	0.2007	1.75311	4.75
53.2586	33.44	0.2676	1.72001	10.97
54.1338	10.28	0.3346	1.69425	3.37
55.9757	19.47	0.2676	1.64279	6.39
56.7888	21.51	0.3346	1.62119	7.05
57.4057	29.22	0.2007	1.60522	9.58
65.7810	21.64	0.2676	1.41968	7.10
69.4626	11.92	0.4015	1.35317	3.91

LAMPIRAN 4 HASIL XRD S/MnO₂ 200 MESH**Measurement Conditions: (Bookmark 1)**

Dataset Name S MnO₂ 200Mesh
File name C:\Users\ASUS\Downloads\April\April\P.Lukman\Ibrahim\S MnO₂ 325Mesh\S MnO₂ 325Mesh.xrdml
Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner,
Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size
2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60;
Minimum step size Phi:0.1

Diffractometer system=XPERT-PRO

Measurement program=C:\PANalytical\Data

Collector\Programs\Scan 5-90_spin4.xrdmp, Identifier={EA1354A2-691F-46A9-86C1-7E2BBEEF477A}

Measurement Date / Time 4/5/2022 11:48:58 AM

Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}$ 2Th.] 5.0084

End Position [$^{\circ}$ 2Th.] 89.9744

Step Size [$^{\circ}$ 2Th.] 0.0170

Scan Step Time [s] 10.1600

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.] 2.12

Offset [$^{\circ}$ 2Th.] 0.0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 1.0000

Specimen Length [mm] 10.00

Measurement Temperature [$^{\circ}$ C] 25.00

Anode Material Cu

K-Alpha1 [\AA] 1.54060

K-Alpha2 [\AA] 1.54443

K-Beta [\AA] 1.39225

K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000

Generator Settings 30 mA, 40 kV

Diffractometer Type 0000000011119014

Diffractometer Number 0

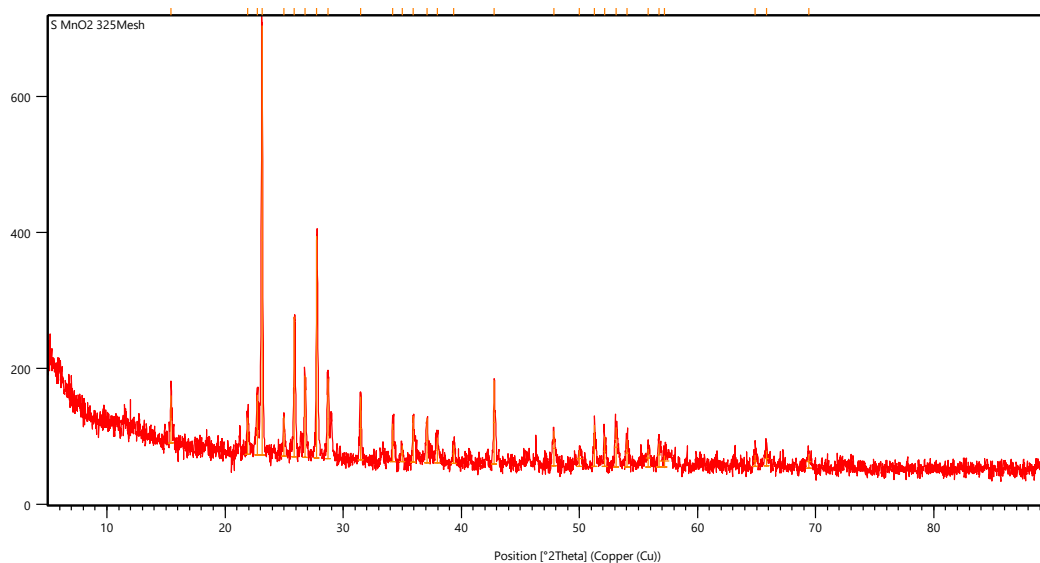
Goniometer Radius [mm] 240.00

Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Incident Beam Monochromator No

Spinning Yes

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

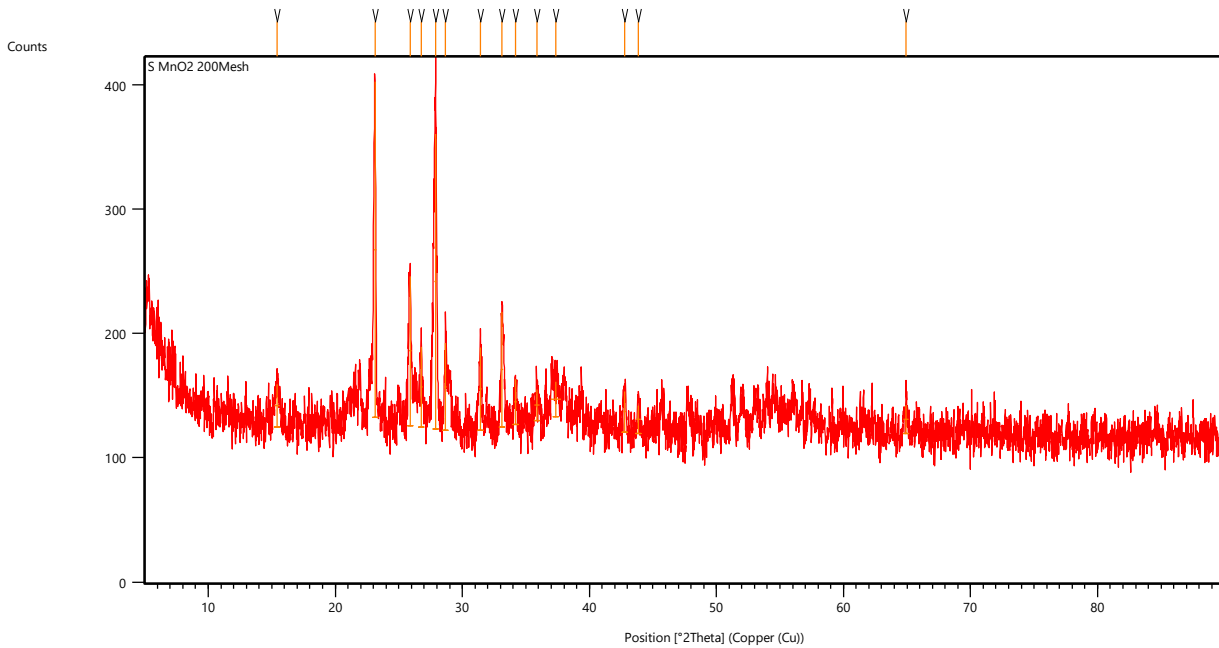
Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
15.4374	70.21	0.1004	5.74001	11.11
21.9127	53.50	0.1338	4.05625	8.47
22.7363	88.70	0.1338	3.91115	14.04
23.1262	631.83	0.1004	3.84610	100.00
24.9806	58.08	0.1004	3.56463	9.19
25.8700	206.05	0.1171	3.44405	32.61
26.7725	120.32	0.1338	3.32997	19.04
27.7647	326.24	0.1171	3.21318	51.63
28.7153	117.65	0.1338	3.10894	18.62
31.4692	93.12	0.1673	2.84288	14.74
34.2083	55.38	0.1673	2.62126	8.76
34.9824	24.49	0.2007	2.56501	3.88
35.9440	68.51	0.1004	2.49856	10.84
37.1057	65.08	0.1673	2.42296	10.30
37.9506	37.45	0.2007	2.37094	5.93
39.3733	27.66	0.2007	2.28849	4.38
42.7989	122.90	0.1673	2.11292	19.45
47.8533	50.84	0.2342	1.90089	8.05
50.0077	24.14	0.5353	1.82393	3.82
51.2586	61.68	0.1338	1.78232	9.76
52.1511	44.44	0.2007	1.75390	7.03
53.0935	57.81	0.3346	1.72497	9.15
54.0183	40.59	0.2676	1.69760	6.42
55.8282	26.50	0.4015	1.64678	4.19
56.7622	34.41	0.2676	1.62188	5.45
57.1894	16.84	0.8029	1.61078	2.67
64.8691	16.75	0.3346	1.43741	2.65
65.8307	21.90	0.4015	1.41873	3.47
69.4344	19.55	0.4015	1.35365	3.09

LAMPIRAN 5 HASIL XRD S/MnO₂ 325 MESH**Measurement Conditions: (Bookmark 1)**

Dataset Name S MnO₂ 325Mesh
 File name C:\Users\ASUS\Downloads\April\April\P.Lukman\Mila\S MnO₂ 200Mesh\S MnO₂ 200Mesh.xrml
 Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1,
 Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size
 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
 Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60;
 Minimum step size Phi:0.1
 Diffractometer system=XPERT-PRO
 Measurement program=C:\PANalytical\Data
 Collector\Programs\Scan 5-90_spin4.xrmp, Identifier={EA1354A2-691F-46A9-86C1-
 7E2BBEEF477A}
 Measurement Date / Time 4/5/2022 9:47:05 AM

Operator	Institut Teknologi
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	5.0084
End Position [°2Th.]	89.9744
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1600
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2.12
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Measurement Temperature [°C]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	0000000011119014
Diffractometer Number	0
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
15.4208	34.12	0.4015	5.74612	12.63
23.1226	270.21	0.1673	3.84668	100.00
25.8788	119.72	0.1673	3.44291	44.31
26.7507	64.51	0.2007	3.33264	23.87
27.9198	237.28	0.1673	3.19569	87.81
28.6819	70.10	0.2007	3.11249	25.94
31.4256	66.37	0.2007	2.84672	24.56
33.1088	92.50	0.2342	2.70575	34.23
34.1776	36.43	0.2007	2.62355	13.48
35.8880	24.63	0.4015	2.50233	9.11
37.3534	28.34	0.8029	2.40747	10.49
42.7831	32.81	0.2007	2.11366	12.14
43.8500	22.46	0.4015	2.06468	8.31
64.9158	22.53	0.4015	1.43649	8.34

LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN PARAMETER KISI DENGAN WEBSITE WOLFRAM ALPHA

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Parameter Kisi Sulfur

Titik pertama : $\frac{1}{2.617^2} = \frac{4^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

Input

$$\frac{1}{2.617^2} = \frac{4^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

Result

$$0.146013 = \frac{16}{a^2}$$

Plot

Alternate form assuming a is positive

$$a = 10.468$$

Number line

Solutions

Step-by-step solution

$a \approx -10.468$

$a \approx 10.468$

Titik Kedua : $\frac{1}{3.853^2} = \frac{2^2}{10.468^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.487^2}$

Input interpretation

$$\frac{1}{3.853^2} = \frac{2^2}{10.464^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.487^2}$$

Result

$$0.06736 = 0.0432022 + \frac{4}{b^2}$$

Plot

Alternate form assuming b is real

$$b = \frac{165.578}{b}$$

Alternate form

$$0.06736 = \frac{0.0432022(b^2 + 92.5878)}{b^2}$$

Alternate form assuming b is positive

$$b = 12.8677 \text{ (for } b \neq 0\text{)}$$

Number line

Solutions Step-by-step solution

$b \approx -12.8677$

$b \approx 12.8677$

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Titik Ketiga : $\frac{1}{3.218^2} = \frac{2^2}{10.464^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{6^2}{c^2}$

Input interpretation

$$\frac{1}{3.218^2} = \frac{2^2}{10.464^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0965668 = 0.0365312 + \frac{36}{c^2}$$

Plot

Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{599.645}{c}$$

Alternate form

$$0.0965668 = \frac{0.0365312(c^2 + 985.458)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

$$c = 24.4876$$

Number line

Solutions Step-by-step solution

$c \approx -24.4876$

$c \approx 24.4876$

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Parameter Kisi Sulfur/MnO₂

Titik pertama : $\frac{1}{2.621^2} = \frac{4^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

Input

$$\frac{1}{2.621^2} = \frac{4^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

Result

$$0.145568 = \frac{16}{a^2}$$

Plot

Alternate form assuming a is positive

a = 10.484

Number line

Solutions Step-by-step solution

a ≈ -10.484

a ≈ 10.484

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Titik kedua : $\frac{1}{3.846^2} = \frac{2^2}{10.484^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.398^2}$

Input interpretation

$$\frac{1}{3.846^2} = \frac{2^2}{10.484^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.398^2}$$

Result

$$0.0676054 = 0.0431117 + \frac{4}{b^2}$$

Plot

Alternate form assuming b is real

$$b = \frac{163.307}{b}$$

Alternate form

$$0.0676054 = \frac{0.0431117(b^2 + 92.7822)}{b^2}$$

Alternate form assuming b is positive

b = 12.7792 (for b ≠ 0)

Number line

Solutions Step-by-step solution

b ≈ -12.7792

b ≈ 12.7792

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Titik ketiga : $\frac{1}{3.213^2} = \frac{4^2}{10.484^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{6^2}{c^2}$

Input Interpretation

$$\frac{1}{3.213^2} = \frac{2^2}{10.484^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0968676 = 0.036392 + \frac{36}{c^2}$$

Plot

Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{595.281}{c}$$

Alternate form

$$0.0968676 = \frac{0.036392(c^2 + 989.228)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

$$c = 24.3984$$

Number line

Solutions Step-by-step solution

$c \approx -24.3984$

$c \approx 24.3984$

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Parameter Kisi Sulfur/MnO₂ 325 mesh

Titik pertama : $\frac{1}{2.623^2} = \frac{4^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

Input

$$\frac{1}{2.623^2} = \frac{4^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

Result

$$0.145346 = \frac{16}{a^2}$$

Plot

Alternate form assuming a is positive

$$a = 10.492$$

Number line

Solutions Step-by-step solution

$a \approx -10.492$

$a \approx 10.492$

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Titik kedua : $\frac{1}{2.617^2} = \frac{2^2}{10.492^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.169^2}$

Input interpretation

$$\frac{1}{3.846^2} = \frac{2^2}{10.492^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.169^2}$$

Result

$$0.0676054 = 0.0431842 + \frac{4}{b^2}$$

Plot

Alternate form assuming b is real

$$b = \frac{163.792}{b}$$

Alternate form

$$0.0676054 = \frac{0.0431842(b^2 + 92.6265)}{b^2}$$

Alternate form assuming b is positive

$$b = 12.7981 \text{ (for } b \neq 0)$$

Number line

Solutions

Step-by-step solution

$b \approx -12.7981$

$b \approx 12.7981$

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Titik kedua : $\frac{1}{2.617^2} = \frac{2^2}{10.492^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.169^2}$

Input interpretation

$$\frac{1}{3.846^2} = \frac{2^2}{10.492^2} + \frac{2^2}{b^2} + \frac{2^2}{24.169^2}$$

Result

$$0.0676054 = 0.0431842 + \frac{4}{b^2}$$

Plot

Alternate form assuming b is real

$$b = \frac{163.792}{b}$$

Alternate form

$$0.0676054 = \frac{0.0431842(b^2 + 92.6265)}{b^2}$$

Alternate form assuming b is positive

$$b = 12.7981 \text{ (for } b \neq 0)$$

Number line

Solutions

Step-by-step solution

$b \approx -12.7981$

$b \approx 12.7981$

[Download Page](#) POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Titik ketiga : $\frac{1}{3.915^2} = \frac{4^2}{10.492^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{6^2}{c^2}$

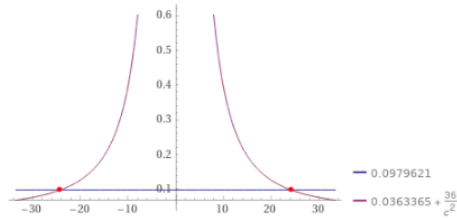
Input interpretation

$$\frac{1}{3.195^2} = \frac{2^2}{10.492^2} + \frac{0^2}{b^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0979621 = 0.0363365 + \frac{36}{c^2}$$

Plot



Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{584.173}{c}$$

Alternate form

$$0.0979621 = \frac{0.0363365(c^2 + 990.739)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

$$c = 24.1697$$

Number line



Solutions

Step-by-step solution

$$c \approx -24.1697$$

$$c \approx 24.1697$$

[Download Page](#)

POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama pelaksanaan penelitian serta penulisan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Ukuran Partikel pada Sintesis Katoda Sulfur/MnO₂ Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Litium Sulfur**” ini, banyak pihak yang telah membantu serta memberi dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Mokhamad Makhlis dan Herlina serta kakak penulis Meidiana Hermawati yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk kelancaran penelitian ini.
2. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D. serta Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan kesempatan, dukungan, serta ilmu dalam bimbingan hingga dapat terselesaikan Tugas Akhir ini.
3. Segenap Bapak Ibu Dosen serta staf Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Yang telah memberikan ilmu dan membantu kelancaran pengerjaan Tugas Akhir.
4. Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam dan Rikza Octavian sebagai teman satu topik penulis dalam Tugas Akhir ini yang telah membantu, memberikan dukungan serta bekerja sama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Alvan Alfaridzi, Elsanti Anggraini, dan Salamullah Abdul Hadi sebagai teman tugas akhir topik baterai yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Zevita Praja Tsalas Tirtana sebagai pacar, sahabat serta orang yang menemani saya yang telah memberikan masukan, mendukung, serta mendengarkan curhatan penulis
7. Dita Dianasari, Finny Alifatur Rosyidah, Risa Wahyu Widyastuti, Miftakhur Rizqiyah, Serly Hardianti, serta teman-teman penulis yang telah membantu, memberikan dukungan dan selalu mendengarkan curahan hati penulis.
8. Keluarga besar Teknik Material angkatan 2018 yang telah membantu, memberikan dukungan dan memberikan banyak kenangan saat perkuliahan penulis
9. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga terselesaikan tugas akhir ini

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Mojokerto pada tanggal 06 Agustus 2000 dan merupakan anak kedua dari pasangan Mokhammad Makhlis dan Herlina. Jenjang pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri Mentikan IV Kota Mojokerto kemudian menempuh jenjang sekolah menengah pertama di SMP Negeri 7 Kota Mojokerto. Penulis melanjutkan pendidikannya di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Sooko Kabupaten Mojokerto. Setelah lulus SMA pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan Prodi S1 Teknik Material. Selama menjalani studi di Teknik Material ITS, penulis aktif sebagai Pemandu LKMM TD FTIRS-ITS serta Bendahara Umum

Badan Semi Otonom Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi ITS 2021. Penulis juga pernah mengikuti pelatihan diantaranya LKMM Pra TD FTI ITS 2019, LKMM TD HMMT-ITS 2019, dan Pelatihan Pemandu LKMM FTIRS ITS 2019. Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. NOV Profab Batam, Kepulauan Riau.