

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *COATING* PANI
PADA KATODA SULFUR/MNO₂ TERHADAP
PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI *LITHIUM-
SULFUR***

IBRAHIM FATHAHILLAH HIZBUL ISLAM
NRP. 02511840000020

Dosen Pembimbing

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

NIP. 197713032003121001

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

NIP. 199007262015041002

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 VARIASI COATING PANI PADA
KATODA SULFUR/MNO₂ TERHADAP PERFORMA
ELEKTROKIMIA BATERAI LITHIUM-SULFUR**

IBRAHIM FATHAHILLAH HIZBUL ISLAM
NRP. 0251184000020

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
NIP. 197713032003121001
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
NIP. 199007262015041002

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 THE EFFECT OF PANI COATING VARIATIONS
ON SULFUR/MNO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL
PERFORMANCE OF LITHIUM-SULFUR BATTERY**

IBRAHIM FATHAHILLAH HIZBUL ISLAM
NRP. 0251184000020

Advisor

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
NIP. 197713032003121001

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
NIP. 199007262015041002

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

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI *COATING* PANI PADA PROSES SINTESIS KATODA SULFUR/MNO₂ TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI *LITHIUM-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 :

IBRAHIM FATHAHILLAH HIZBUL ISLAM
NRP. 0251184000020

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

Pembimbing

Ko-Pembimbing

Penguji

Penguji



SURABAYA
JUNI, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS THE EFFECT OF PANI COATING VARIATIONS ON SULFUR/MNO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LITHIUM-SULFUR BATTERY

FINAL PROJECT


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


By : **IBRAHIM FATHAHILLAH HIZBUL ISLAM**
NRP. 0251184000020

Approved by Final Project Examiner Team :

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


Advisor


Co-Advisor


Examiner


Examiner



SURABAYA
JUNI, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam/0251184000020
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing/NIP : Lukman Noerochim,S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D./
197713032003121001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI *COATING* PANI PADA PROSES SINTESIS KATODA SULFUR/MNO₂ TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI *LITHIUM-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.

Surabaya, 30 Juni 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Lukman Noerochim,S.T.,M.Sc.(Eng)., Ph.D.)
NIP. 197713032003121001

Mahasiswa



(Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam)
NRP.0251184000020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam/0251184000020
Departement : Material and Metallurgy Departmen INDSYS-ITS
Advisor/NIP : Lukman Noerochim,S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D./
197713032003121001

Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS THE EFFECT OF PANI COATING VARIATIONS ON SULFUR/MNO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LITHIUM-SULFUR BATTERY” is the result of my 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 by the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 Juni 2022

Acknowledged
Advisor



(Lukman Noerochim,S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.)
NIP. 197713032003121001

Student



(Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam)
NRP. 0251184000020

(This page is intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH VARIASI COATING PANI PADA PROSES SINTESIS KATODA SULFUR/MNO₂ TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI LITHIUM-SULFUR

Nama Mahasiswa / NRP : Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam/0251184000020
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng.), Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstrak

Dewasa ini energi listrik menjadi kebutuhan utama dalam kegiatan kehidupan manusia. Terutama pada bidang baterai pada Kendaraan bermotor listrik sebagai alternatif transportasi. Baterai katoda sulfur dan anoda lithium (Li-S) menjadi pilihan karena kapasitas yang tinggi yaitu sebesar 2500 Wh/kg lebih tinggi daripada Li-Ion yang mempunyai kapasitas 420 Wh/kg. Dalam penelitian ini Li-S dimodifikasi untuk peningkatan performa elektrokimia, karena Li-S mempunyai kelemahan yaitu konduktivitas yang rendah. Li-S ditingkatkan konduktivitasnya dengan modifikasi pada katoda, katoda sulfur di coating MnO₂ kemudian Polianilin (PANI). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh coating PANI terhadap katoda sulfur/MnO₂ (S/MnO₂) dengan variasi berat S/MnO₂ : anilin (70%:30%, 80%:20%, 90%:10%). Prosedur coating menggunakan larutan anilin-HCl dengan *ammonium persulfat* dengan suhu 0–20°C selama 30 menit sambil diaduk pada 480 rpm, kemudian dipanaskan di oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Berdasarkan hasil uji karakterisasi didapatkan struktur sulfur ortorhombik dan δ-MnO₂. Pengaruh *coating* pada karakterisasi memperkecil *crystallite size* dengan hasil terkecil pada variasi PANI 10% sebesar 117,4 nm. Berdasarkan hasil pengujian performa elektrokimia didapatkan hasil baterai *lithium-sulfur* yang memiliki performa terbaik pada variasi PANI 10%, hal ini dikarenakan nilai tahanan yang rendah yaitu sebesar 11,596 Ohm dan mempunyai kapasitas spesifik *charge* dan *discharge* dengan nilai 819,5674 mAhg⁻¹ dan 711,6122 mAhg⁻¹. Sehingga katoda S/MnO₂ coating PANI 10 % ini layak menjadi kandidat sebagai katoda baterai lithium sulfur.

Kata Kunci: *Baterai, Katoda, Lithium-Sulfur, PANI, S/MnO₂*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF PANI COATING VARIATIONS ON SULFUR/MNO₂ CATHODES ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LITHIUM-SULFUR BATTERY

Student Name / NRP : Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam/02511840000020
Departement : Material and Metallurgical Departmen INDSYS-ITS
Supervisor : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D.
Co-Supervisor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstract

Today, electrical energy is a major need in human life activities. Especially in the field of batteries in electric motorized vehicles as alternative transportation. Sulfur cathode and lithium anode (Li-S) batteries are the choices because of their high capacity which is 2500 Wh/kg higher than Li-Ion which has a capacity of 420 Wh/kg. In this study, Li-S was modified to improve electrochemical performance, because Li-S has a weakness, namely low conductivity. Li-S conductivity was improved by modifying the cathode, sulfur cathode in MnO₂ coating, and then Polyaniline (PANI). This study aimed to determine the effect of PANI coating on sulfur/MnO₂ (S/MnO₂) cathode with weight variation of S/MnO₂: aniline (70%:30%, 80%:20%, 90%:10%). The coating procedure used an aniline-HCl solution with ammonium persulfate at temperature 0-20°C for 35 minutes while stirring at 480 rpm, then heated in an oven at 60°C for 24 hours. Characterization test results, the structures of sulfur are orthorhombic and δ-MnO₂ were obtained. The effect of coating on the characterization of reducing crystallite size with the smallest result at 10% PANI variation of 117.4 nm. Based on the results of the electrochemical performance test, it was found that the lithium-sulfur battery had the best performance in the 10% PANI variation, this is due to the low resistance value of 11.596 Ohm and a specific charge and discharge capacity of 819.5674 mAhg⁻¹ and 711.6122 mAhg⁻¹. So that this 10% PANI coating S/MnO₂ cathode deserves to be a candidate as a *lithium-sulfur* battery cathode.

Keywords: *Baterai, Katoda, Lithium-Sulfur, PANI, S/MnO₂*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI COATING PANI PADA KATODA SULFUR/MNO₂ TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI LITHIUM-SULFUR”. Telah terselesaikan laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D dan Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS dan penguji sidang tugas akhir
3. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen penguji sidang tugas akhir.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, tenaga pendidikan teknik material dan teman penulis yang selalu memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini bermanfaat dan mohon maaf apabila ada salah kata dalam penulisan.

Surabaya, 18 Juli 2022

Penulis



Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Baterai.....	3
2.2 Baterai <i>Lithium</i>	4
2.3 Jenis Baterai <i>Lithium</i>	4
2.3.1 <i>Lithium Metal</i>	4
2.3.2 <i>Lithium-ion</i>	5
2.3.3 <i>Lithium-ion</i> Polimer.....	5
2.3.4 <i>Lithium</i> Oksigen	6
2.3.5 <i>Lithium-Sulfur</i>	7
2.4 Baterai <i>Lithium-Sulfur</i> (Li-S)	7
2.4.1 Anoda <i>Lithium</i>	8
2.4.2 Katoda Sulfur.....	9
2.5 Mangan Dioksida.....	10
2.5.1 <i>Pyrolusite</i> (β -MnO ₂).....	10
2.5.2 <i>Hollandite</i> (α -MnO ₂)	10
2.5.3 <i>Birnessite</i> (δ -MnO ₂).....	11
2.6 Polianilin (PANI).....	11
2.7 <i>Coating</i> Katoda.....	13
2.9 <i>Coating</i> PANI.....	14
2.10 Penelitian Sebelumnya	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Bahan Penelitian	18
3.3 Alat dan Bahan yang digunakan.....	24
3.4 Metode Penelitian	29
3.4.1 Sintesis Katoda Sulfur/MnO ₂	29
3.4.2 Proses <i>Coating</i> PANI Pada Katoda Sulfur/MnO ₂	30
3.4.3 Proses Pencucian dengan Toluena.....	30
3.4.4 Proses <i>Assembly</i> Baterai <i>Lithium</i> Sulfur.....	31
3.5 Pengujian Morfologi <i>Scanning Electron Microscopy</i>	31
3.6 Pengujian Fasa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	32
3.7 Pengujian <i>Fourier Transform Infra-red</i> (FTIR).....	32
3.8 Pengujian <i>Galvanostatic Charge and Discharge</i> (GCD).....	33
3.9 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	34
3.10 Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	34

3.11 Rancangan Penelitian.....	35
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Sintesis S/MnO ₂	39
4.2 Hasil <i>Coating</i> PANI pada S/MnO ₂	40
4.3 Hasil Karakterisasi S/MnO ₂ /PANI.....	41
4.3.1 Analisis Uji XRD S/MnO ₂ /PANI	41
4.3.2 Analisis Uji FTIR S/MnO ₂ /PANI	43
4.3.3 Analisis Uji SEM-EDX S/MnO ₂ /PANI	45
4.4 Hasil Pengujian Peforma Elektrokimia S/MnO ₂ /PANI	49
4.4.1 Analisis Uji CV S/MnO ₂ /PANI	49
4.4.2 Analisis Uji EIS S/MnO ₂ /PANI.....	54
4.4.3 Analisis Uji GCD S/MnO ₂ /PANI	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	71
Lampiran 1 Refrensi Peak XRD	71
Lampiran 2 Perhitungan Parameter Kisi dengan <i>Wolfram alpha</i>	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses charge-discharge baterai ¹⁴	3
Gambar 2. 2 Baterai primer dan baterai sekunder ¹⁷	3
Gambar 2. 3 Perkembangan Jenis Baterai ¹⁹	4
Gambar 2. 4 Jenis Katoda Lithium Metal Dengan anoda LTO ²¹	5
Gambar 2. 5 Perbandingan Voltase Katoda Baterai Li-Ion ²⁴	5
Gambar 2. 6 Baterai Mekanisme Li-Po ²⁵	6
Gambar 2. 7 Prinsip Kerja Lithium Oksigen ²⁶	6
Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Baterai Li-S ²⁷	7
Gambar 2. 9 Mekanisme Shuttle Effect Li-S ²⁷	8
Gambar 2. 10 Pertumbuhan dendrit Logam Li ²⁸	8
Gambar 2. 11 Bentuk struktur kristal dan morfologi <i>pyrolusite</i> (β -MnO ₂) ³²	10
Gambar 2. 12 Bentuk struktur dan morfologi α -MnO ₂ ³²	11
Gambar 2. 13 Bentuk struktur dan morfologi δ -MnO ₂ ^{10,32}	11
Gambar 2. 14 Gugus Ikatan PANI berdasarkan Warna ³⁵	12
Gambar 2. 15 Skema <i>Ultrasonic Bath</i>	14
Gambar 2. 16 Skema Pelapisan Sulfur- PANI ³⁷	14
Gambar 2. 17 Skema Pelapisan MnO ₂ -PANI ³⁸	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Analisis Karakterisasi Material.....	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Analisis Performa Elektrokimia	18
Gambar 3. 3 Kalium Permanganat (KMnO ₄) Ras Chemical	19
Gambar 3. 4 Sulfur ukuran 325 Mesh.....	19
Gambar 3. 5 Deionisasi Water	19
Gambar 3. 6 Toluena.....	20
Gambar 3. 7 Kertas filter.....	20
Gambar 3. 8 Acetylene Black	20
Gambar 3. 9 Polyvinylidene Fluoride (PVDF)	21
Gambar 3. 10 Separator Baterai Lithium Sulfur	21
Gambar 3. 11 Elektrolit LiTFSi Baterai Lithium-Sulfur	21
Gambar 3. 12 Lithium Metal.....	22
Gambar 3. 13 Aluminium Foil.....	22
Gambar 3. 14 Lithium Coin Cell	22
Gambar 3. 15 Gas Argon	23
Gambar 3. 16 Anilin	23
Gambar 3. 17 Ammonium Peroxydisulate (APS).....	23
Gambar 3. 18 <i>Hydrochloric Acid</i> (HCl)	24
Gambar 3. 19 N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP).....	24
Gambar 3. 20 Neraca Analitik Laboratorium Kimia Material.....	24
Gambar 3. 21 Lemari Pendingin	25
Gambar 3. 22 Gelas Beaker	25
Gambar 3. 23 Oven	25
Gambar 3. 24 Hot Magnetic Stirer	26
Gambar 3. 25 Ultrasonic Cleaner.....	26
Gambar 3. 26 Gelas Labu	26
Gambar 3. 27 Gelas Corong.....	27
Gambar 3. 28 Glove Box Laboratorium Korosi	27
Gambar 3. 29 X-Ray Diffraction	27
Gambar 3. 30 Scanning Electron Microscope (SEM).....	28
Gambar 3. 31 FTIR Nicolet IS10.....	28

Gambar 3. 32	Galvonostatic Charge Discharge	28
Gambar 3. 33	Alat Pengujian EIS dan CV	29
Gambar 3. 34	Sonikasi sulfur dengan deionisasi water.....	29
Gambar 3. 35	Proses magnetic stirer sulfur dan KMnO_4	29
Gambar 3. 36	Sulfur/ MnO_2 /PANI.....	30
Gambar 3. 37	Proses Pencucian Sulfur/ MnO_2 dengan Toluena.....	30
Gambar 3. 38	Lithium Coin Cell CR 2023.....	31
Gambar 3. 39	Skema Alat Uji SEM ⁴⁴	32
Gambar 3. 40	Skema Alat Uji XRD ⁴⁵	32
Gambar 3. 41	Skema Pengujian FTIR ⁴⁶	33
Gambar 3. 42	Grafik uji lithium sulfur ⁴⁷	34
Gambar 3. 43	Contoh Kurva Lithium Sulfur Uji EIS ⁴⁸	34
Gambar 3. 44	Contoh grafik Uji CV lithium sulfur ⁴²	35
Gambar 3. 45	Skema peralatan proses sintesis.....	35
Gambar 3. 46	Skema peralatan proses pengeringan.....	36
Gambar 3. 47	Skema perubahan katoda Sulfur/ MnO_2 /PANI.....	36
Gambar 3. 48	Skema proses assembly	36
Gambar 4. 1	Serbuk sulfur (a) dan serbuk S/ MnO_2 hasil sintesis (b).....	39
Gambar 4. 2	Hasil XRD sintesis S/ MnO_2	39
Gambar 4. 3	Serbuk variasi coating PANI 10% (a), 20% (b), dan 30% (c).....	40
Gambar 4. 4	Hasil XRD S/ MnO_2 /PANI.....	41
Gambar 4. 5	Spektrum polianilin	43
Gambar 4. 6	Spektrum FTIR S/ MnO_2 /PANI	44
Gambar 4. 7	Hasil SEM perbesaran 50.000 kali (a) S/ MnO_2 , (b) S/ MnO_2 /PANI 10%, (c) S/ MnO_2 /PANI 20% dan (d) S/ MnO_2 /PANI 30%	46
Gambar 4. 8	<i>Elemental Mapping</i> perbesaran 5000 kali S/ MnO_2 /PANI 10% (a), S/ MnO_2 /PANI 20% (b) dan S/ MnO_2 /PANI 30% (c).....	47
Gambar 4. 9	<i>Elemental Mapping</i> unsur S, Mn, O, C, dan N perbesaran 5000 kali spesimen (a) S/ MnO /PANI 10%, (b) S/ MnO /PANI 20% dan (c) S/ MnO /PANI 30%	48
Gambar 4. 10	Spektrum EDX (a) S/ MnO_2 /PANI 10%, (b) 20% dan (c) 30%.....	48
Gambar 4. 11	Perbandingan CV S/ MnO_2 , S/ MnO_2 /PANI 10%, 20% dan 30% pada <i>cycle</i> 3.....	50
Gambar 4. 12	Perbandingan grafik CV S/ MnO_2 <i>cycle</i> 1 sampai 3	51
Gambar 4. 13	Perbandingan grafik CV S/ MnO_2 /PANI 10% <i>cycle</i> 1 sampai 3.....	52
Gambar 4. 14	Perbandingan grafik CV S/ MnO_2 /PANI 20% <i>cycle</i> 1-3.....	52
Gambar 4. 15	Perbandingan grafik CV S/ MnO_2 /PANI 30% <i>cycle</i> 1-3	53
Gambar 4. 16	<i>Equivalent circuit fitting</i> baterai	54
Gambar 4. 17	Hasil uji (a) EIS S/ MnO_2 , (b) S/ MnO_2 /PANI 10%, (c) S/ MnO_2 /PANI 20% dan (d) S/ MnO_2 /PANI 30%	55
Gambar 4. 18	Perbandingan <i>nquist plot</i> dari uji EIS S/ MnO_2 , S/ MnO_2 /PANI 10%, S/ MnO_2 /PANI 20%, dan S/ MnO_2 /PANI 30%	56
Gambar 4. 19	Perbandingan kapasitas spesifik pada <i>cycle</i> 2 S/ MnO_2 , S/ MnO_2 /PANI 10%, S/ MnO_2 /PANI 20%, dan S/ MnO_2 /PANI 30%	57
Gambar 4. 20	Kapatasitas spesifik S/ MnO_2 100 <i>cycle</i>	58
Gambar 4. 21	Kapasitas spesifik S/ MnO_2 /PANI 10% 100 <i>cycle</i>	58
Gambar 4. 22	Kapasitas spesifik S/ MnO_2 /PANI 20% 100 <i>cycle</i>	59
Gambar 4. 23	Kapasitas spesifik S/ MnO_2 /PANI 30% 100 <i>cycle</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Katoda Sulfur pada baterai ²⁹	9
Tabel 2. 3 Jenis Sulfur/Karbon Komposit ³⁰	9
Tabel 2. 4 Perbandingan Komposit MnO ₂ pada baterai Li-S ³¹	10
Tabel 2. 5 Jenis Gugus Ikatan Polianilin (PANI) ³³	12
Tabel 2. 6 Gugus ikatan PANI ³⁴	12
Tabel 2. 7 Konduktivitas PANI saat Polimerisasi ³⁶	13
Tabel 2. 8 Perbandingan Penelitian Sebelumnya.....	16
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian.....	37
Tabel 4. 1 Ukuran kristal sulfur dengan variasi <i>coating</i> 0%, 10%, 20% dan 30%	42
Tabel 4. 2 Pengaruh <i>Coating</i> PANI terhadap parameter kisi.....	42
Tabel 4. 3 Data spektrokopi FTIR dari PANI yang di doping HCl	44
Tabel 4. 4 Data perbandingan spektrokopi FTIR S/MnO ₂ /PANI.....	45
Tabel 4. 5 Hasil EDX % berat dan % atom pada permukaan S/MnO ₂ /PANI 10%, 20%, 30%	49
Tabel 4. 6 Nilai intensitas puncak voltase dan arus oksidasi reduksi pada spesimen variasi <i>coating</i> PANI 0%, 10%, 20% dan 30%	50
Tabel 4. 7 Nilai intensitas puncak voltase dan arus pada spesimen S/MnO ₂ <i>cycle</i> 1-3.....	51
Tabel 4. 8 Nilai intensitas puncak voltase dan arus pada spesimen S/MnO ₂ /PANI 10%	52
Tabel 4. 9 Nilai intensitas puncak arus dan voltase spesimen S/MnO ₂ /PANI 20%	53
Tabel 4. 10 Nilai intensitas puncak arus dan voltase spesimen S/MnO ₂ /PANI 30%	54
Tabel 4. 11 Nilai R _s dan R _{ct} variasi <i>coating</i> PANI 0%, 10%, 20% dan 30%	55
Tabel 4. 12 Perbandingan penurunan stabilitas spesimen S/MnO ₂ /PANI 0%, S/MnO ₂ /PANI 10%, S/MnO ₂ /PANI 20% dan S/MnO ₂ /PANI 30%	60
Tabel 4. 13 Perbandingan <i>Efficiency Coulumbic</i> Baterai	61

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini energi listrik menjadi kebutuhan utama dalam kegiatan kehidupan manusia. Pada tahun 2020, Kementerian ESDM memberi pernyataan bahwa konsumsi energi di Indonesia meningkat dengan laju kenaikan sebesar 6,9% per tahun (Direktorat Konservasi Energi Kementerian ESDM, 2019). Pihak pemerintah Indonesia memperkirakan energi listrik yang ingin dicapai sebesar 23% di tahun 2050 dan menargetkan optimalisasi penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebesar 29% (Islam et al., 2022). Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri telah memberi pernyataan terkait pelaksanaan program percepatan kelistrikan dengan target 10.000 MW telah didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) jenis batubara yang diketahui sangat polutif dan menjadi penyebab emisi gas CO₂ terbesar yaitu 75% pada komposisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan hanya memiliki efisiensi sebesar 32-42% (ESDM, 2019).

Berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik untuk transportasi memberikan alternatif berupa kendaraan yang ramah lingkungan dengan baterai (Perpres Nomer 55, 2019). Namun, kemajuan ini juga harus diimbangi dengan ketersediaan bahan baku khususnya di bidang baterai yang merupakan komponen paling utama dalam motor listrik (Liun, 2018). Setiap pembelian motor listrik akan diberikan charger on board yang dapat dipakai di tempat tinggal pengguna, namun daya yang disalurkan masih terbatas. Proses charging menggunakan charger rumahan membutuhkan waktu lebih dari 5 jam atau sesuai dengan kapasitas tersisa dari baterai sepeda motor listrik, sehingga dibutuhkan inovasi dalam bidang fast charging atau dalam bahan baterai untuk memperbesar kapasitas baterai agar tidak sering menggunakan charge (LIPI, 2019). Baterai yang telah digunakan saat ini yaitu nickel manganese cobalt (NMC), nickel cobalt aluminium (NCA), dan lithium iron phosphate (LFP) (N. Omar et al., 2011). Ketiga jenis baterai tersebut merupakan penyimpanan energi listrik yang telah diproduksi untuk kendaraan listrik, namun jenis baterai tersebut menggunakan bahan baku yang mempunyai kapasitas energi kecil sehingga jika diproduksi untuk kendaraan listrik membutuhkan bahan baku yang cukup banyak, hal ini menyebabkan beratnya baterai pada kendaraan listrik (R. Zhang et al., 2018).

Para peneliti mulai melakukan eksperimen terkait bahan baterai berbasis organik yang mudah didapat, ringan serta mempunyai kapasitas tinggi, yaitu sulfur. Baterai sulfur menggunakan anoda lithium mempunyai kapasitas yang tinggi yaitu sebesar 2500 Wh/kg lebih tinggi daripada Li-Ion yang mempunyai kapasitas 420 Wh/kg (Setiawan et al., 2020). Lithium sulfur mempunyai kapasitas tinggi, namun mempunyai kelemahan yaitu ikatan antar sulfur rendah dan konduktivitas listrik yang rendah. Ikatan antar sulfur yang rendah dapat diatasi dengan coating MnO₂ yang telah dilakukan Liang pada tahun 2015, sedangkan untuk peningkatan konduktivitas perlu penelitian lebih lanjut (Liang & Nazar, 2016).

Peningkatan konduktivitas baterai Li-S dapat menggunakan metode pelapisan maupun *doping*. Metode pelapisan yang biasanya digunakan yaitu melapisi katoda baterai sulfur menggunakan bahan konduktif polimer. Konduktif polimer yang digunakan yaitu *polyanilin* (PANI), *polypyrrole* (PPY), dan *polyethylenedioxythiophene* (PEDOT) (Li et al., 2013). Konduktif polimer dapat membentuk lapisan tipis yang berguna melindungi katoda dari kerusakan saat bereaksi dengan elektrolit untuk menjaga kesetabilan baterai saat proses *charging* dan *discharging*. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pelapisan PANI untuk katoda sulfur/MnO₂ untuk mengetahui performa baterai lithium-sulfur agar menjadi produk yang dapat digunakan serta diproduksi massal oleh industri pembuatan baterai, maupun digunakan untuk penelitian pengembangan baterai lithium-sulfur.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian adalah bagaimana variasi *coating* PANI terhadap morfologi pada katoda S/MnO₂ dan peningkatan performa elektrokimia baterai *lithium-sulfur*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengurangi penyimpangan dari masalah yang ditinjau, maka ditentukan batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sulfur dan KMnO₄ dengan komposisi yang digunakan diasumsikan tanpa pengotor.
2. Pengaruh pengurangan berat selama proses sintesis dan pelapisan berlangsung diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis katoda S/MnO₂ baterai *lithium-sulfur* akibat pengaruh variasi *coating* PANI terhadap morfologi dan peningkatan performa elektrokimia.

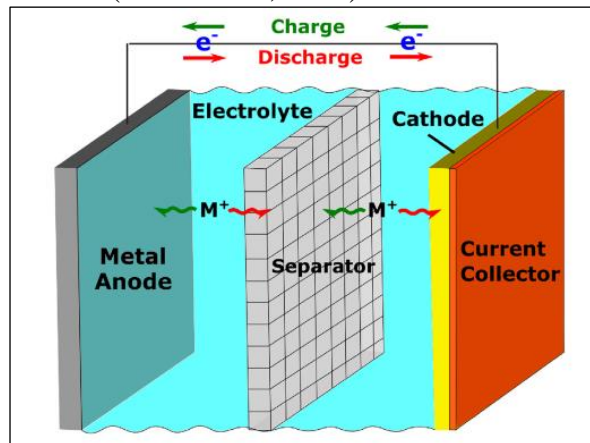
1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat untuk memberikan informasi mengenai pengaruh metode *coating* PANI terhadap katoda sulfur/MnO₂ terhadap resistansi, kapasitas, dan *cycle* pada baterai *lithium-sulfur*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

Baterai merupakan penyimpanan elektrokimia yang dapat menyimpan listrik melalui ikatan kimia. Alat ini mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan aktif secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia. Reaksi ini melibatkan transfer elektron dari satu anoda ke katoda melalui rangkaian listrik (Han et al., 2015). Baterai menyimpan energi listrik berupa energi kimia dan reaksi elektrokimia yang terjadi disebut sel galvanik (Ridwan et al., 2016). Proses elektrokimia ini kemudian menimbulkan reaksi redoks. Perubahan energi kimia menjadi energi listrik disebabkan oleh pergerakan elektron pada rangkaian luar lihat Gambar 2.1 (Borah et al., 2020).

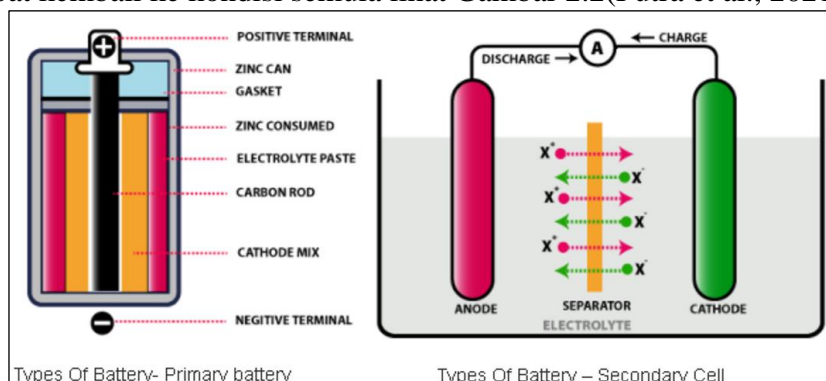


Gambar 2. 1 Proses charge-discharge baterai (Borah et al., 2020)

Elektroda yang teroksidasi disebut anoda atau elektroda negatif. Kation dan anion, dihasilkan selama proses pengisian daya. Anion berjalan melalui elektrolit menuju elektroda positif dan elektron mencapai elektroda positif melalui sirkuit eksternal. Pada elektroda positif kemudian terjadi proses reduksi dengan masuknya anion dan elektron. Selama proses pengisian daya terjadi proses kebalikannya dengan *discharge* sehingga elektroda positif menjadi anoda dan elektroda positif menjadi katoda (Subagiada & Inu Natalisanto, 2021).

Dalam aplikasinya baterai memiliki dua kategori yang dibedakan sesuai kebutuhannya:

1. Baterai primer yang pada umumnya hanya bisa digunakan sekali pakai, ketika habis maka akan dibuang atau diolah kembali.
2. Baterai sekunder yang dapat diisi ulang dan dapat dikosongkan. Setelah dikosongkan atau digunakan baterai dapat diisi ulang dengan cara sel dialiri dengan arus listrik sehingga baterai dapat kembali ke kondisi semula lihat Gambar 2.2 (Putra et al., 2021).



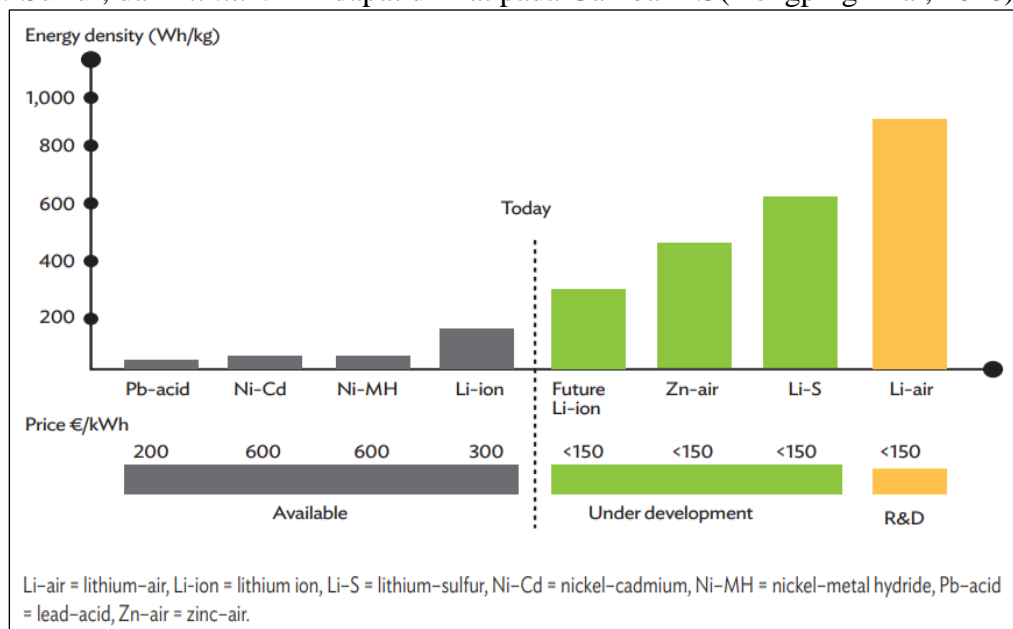
Gambar 2. 2 Baterai primer dan baterai sekunder (Byjus, 2022)

2.2 Baterai *Lithium*

Baterai menggunakan logam *lithium* selama 2 dekade ini sering digunakan sebagai material anoda. Logam *lithium* menjadi pilihan dikarenakan memiliki kelebihan sifatnya yang ringan, tegangan tinggi, konduktivitas elektrokimia yang tinggi dan konduktivitas listrik yang baik (Linden & Reddy, 2002). Sifat yang dimiliki tersebut menguntungkan jika digunakan pada baterai sekunder ketimbang baterai primer, maka dari itu baterai sekunder menggunakan anoda dari *lithium* dari pada menggunakan *zinc*. Reaksi anoda *lithium* pada baterai dapat dilihat reaksi 2.1



Baterai *lithium* terdiri dari lapisan elektroda positif, lapisan elektroda negatif dan lapisan elektrolit yang menjembatani konduksi ion *lithium* antara elektroda positif dan negatif. Elektrolit yang digunakan bukan elektrolit organik, karena tidak bisa menghantarkan ion *lithium* antara elektroda positif dan elektroda negatif. Perkembangan baterai *lithium* pada saat ini yang digunakan untuk produksi massal seperti baterai pada kendaraan listrik masih dalam tahap *lithium-ion*, adapun baterai yang dikembangkan para peneliti untuk menggantikan *lithium-ion* agar mempunyai kapasitas yang besar namun beratnya ringan seperti *Zinc-Air*, *Lithium-Sulfur*, dan *Lithium-Air* dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Yongping Zhai, 2018).



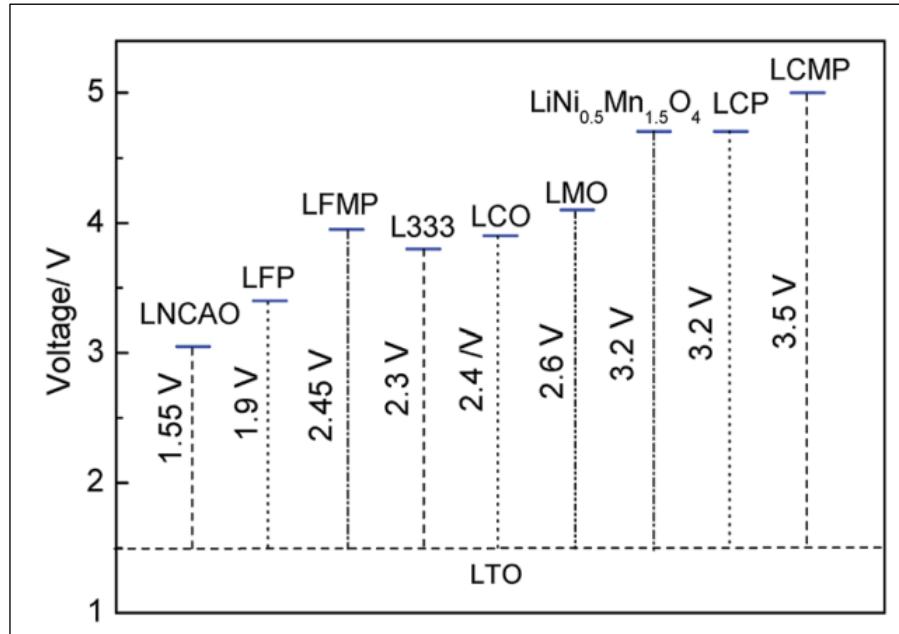
Gambar 2. 3 Perkembangan Jenis Baterai (Yongping Zhai, 2018)

2.3 Jenis Baterai *Lithium*

Baterai *lithium* terdiri dari berbagai jenis yaitu *lithium metal*, *lithium-ion*, *lithium-ion polimer*, *lithium* oksigen sampai *lithium* sulfur. Setiap jenis baterai *lithium* mempunyai kapasitas, berat, dan performa yang berbeda-beda, sampai saat ini yang masih digunakan dalam industri yaitu *lithium-ion* dan *lithium polymer* (Sundén, 2019).

2.3.1 *Lithium Metal*

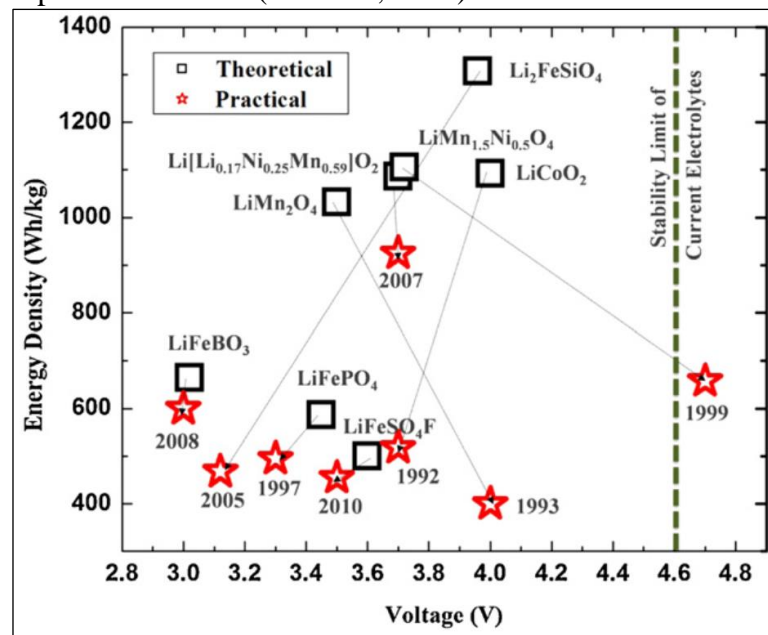
Baterai *lithium* metal memiliki suhu operasi pada suhu 80° sampai 120° C sehingga memiliki potensi untuk digunakan pada kendaraan listrik. Pada baterai jenis ini *lithium* logam akan menjadi elektroda negatif, elektroda positif terdiri dari material yang telah dicampuri logam *lithium* sebagai material tambahan, serta elektrolitnya menggunakan polimer berupa cairan. Katoda baterai yang digunakan seperti LNCAO, LCO, LiFePO₄ dan LCP dengan anoda *lithium* titanium oxide (LTO) dapat dilihat performanya pada Gambar 2.4 (Yi et al., 2015). Selama baterai menggunakan anodanya berbahan dasar *lithium*, memungkinkan baterai tersebut dapat digunakan untuk proses pengisian dan *discharge* daya.



Gambar 2. 4 Jenis Katoda Lithium Metal Dengan anoda LTO(Yi et al., 2015)

2.3.2 Lithium-Ion

Baterai *lithium-ion* dikembangkan untuk mengatasi masalah kerusakan yang telah dialami oleh baterai *lithium metal*. Namun, *energy density* Li-ion lebih rendah daripada baterai lithium metal. Dalam baterai lithium-ion, anoda terbuat dari material berbasis karbon contohnya seperti grafit atau karbon padat. Sedangkan katoda beberapa menggunakan campuran lithium dengan bahan seperti Co, Ni, Fe, atau Mn contohnya yang paling sering digunakan yaitu *lithium cobalt oxide* (LCO) dan *lithium mangan oxide* (LMnO₄) (Perdana, 2021). Elektrolit baterai lithium-ion adalah garam lithium contohnya seperti *lithium hexa fluorophosphate* (LiPF₆) (Pan et al., 2002). Baterai *lithium ion* dalam satu cell dapat menghasilkan 3.6-3.7 V, perbandingan voltase katode li-ion dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Xu et al., 2012).

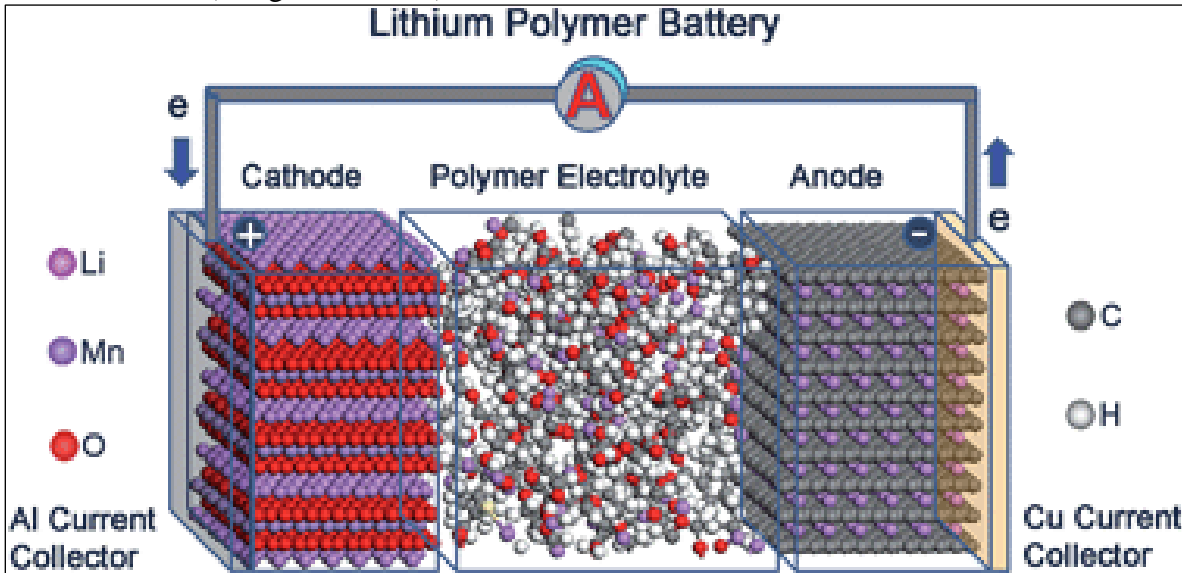


Gambar 2. 5 Perbandingan Voltase Katoda Baterai Li-Ion(Xu et al., 2012)

2.3.3 Lithium-Ion Polimer

Baterai lithium-ion polimer (LiPo), elektrolit merupakan matriks polimer yang umumnya berbentuk gel. Elektrolit padat dan tidak cair akan membuat baterai ini lebih stabil dan

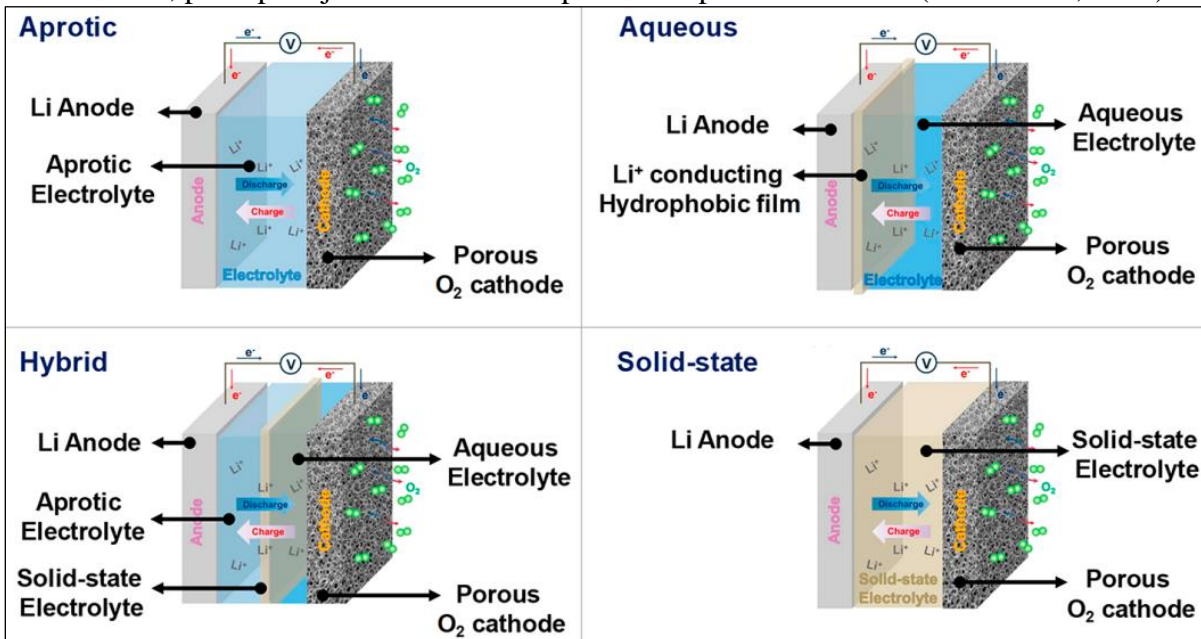
karenanya tidak rentan terhadap kerusakan pengisian daya yang berlebihan, atau masalah penyalahgunaan yang menyebabkan baterai mudah terbakar. Namun, elektrolit ini tidak dapat diproduksi dalam bentuk tipis seperti konsep baterai lithium-ion. Oleh karena itu, baterai ini memiliki tingkat efektivitas ikatan luas permukaan yang rendah dengan elektroda sehingga memiliki kapasitas daya yang terbatas. Kapasitas voltase baterai LiPo dapat mencapai 3.7 V lihat Gambar 2.6(Long et al., 2016).



Gambar 2. 6 Baterai Mekanisme Li-Po(Long et al., 2016)

2.3.4 Lithium Oksigen

Baterai *lithium* Udara mempunyai prinsip kerja dengan mengoksidasi *lithium* pada anoda dan mereduksi oksigen pada udara luar ke katoda. Katoda berbahan karbon mesopori dengan katalis logam sebagai tempat menampung untuk oksigen. Anoda pada baterai ini umumnya terdiri dari logam *lithium*. Terdapat empat jenis elektrolit yang umumnya digunakan, yaitu aprotik, berair, *solid state*, dan campuran berair-aprotik. Baterai lithium oksigen mempunyai voltase 2.4 V, prinsip kerja *lithium* udara dapat dilihat pada Gambar 2.7(Kwak et al., 2020).



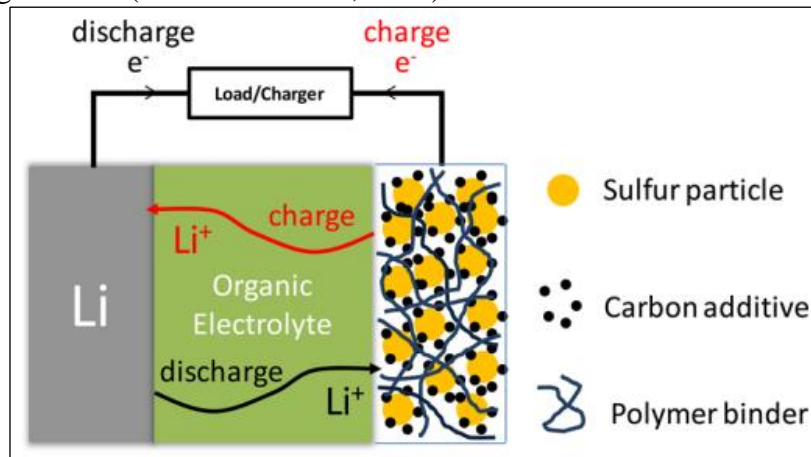
Gambar 2. 7 Prinsip Kerja Lithium Oksigen(Kwak et al., 2020)

2.3.5 Lithium-Sulfur

Baterai *lithium-sulfur* menggunakan *lithium-metal* sebagai anoda atau elektroda negatif. Pada elektroda positif atau katoda digunakan bahan belerang/sulfur. Karena belerang adalah konduktor elektron yang cukup buruk, bisasa belerang dicampur dengan matriks berbahan karbon konduktif untuk digunakan sebagai katoda pada baterai. Voltase lithium-sulfur cukup rendah hanya sebesar 2V. Elektrolit yang umum digunakan terdiri dari elektrolit cair ionik dan elektrolit non-cair. Kelemahan baterai *lithium-sulfur* terkadang sulfida yang mengandung lithium tidak larut kedalam elektrolit sehingga beberapa sulfida ini tidak ikut bereaksi dan menyebabkan kapasitas yang rendah jika dibandingkan dengan secara teori (Manthiram et al., 2014).

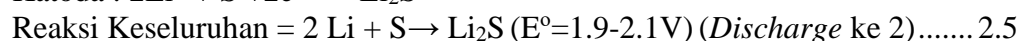
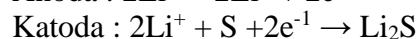
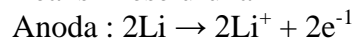
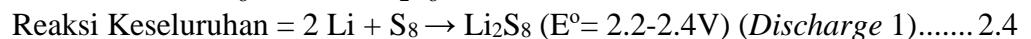
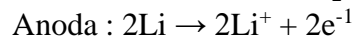
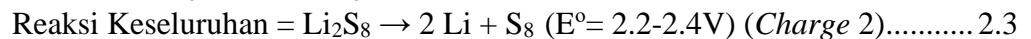
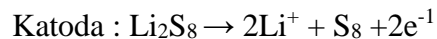
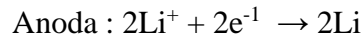
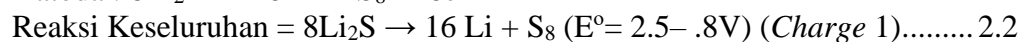
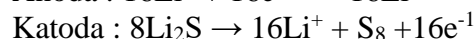
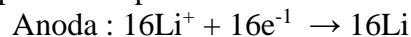
2.4 Baterai Lithium-Sulfur (Li-S)

Baterai Li-S merupakan perangkat penyimpanan elektrokimia di mana energi listrik dapat disimpan dalam elektroda belerang. Katoda pada baterai pada umumnya dicampuri dengan bahan campuran seperti *additive* karbon dan *polymer binder*. Sistem elektrokimia Li-S dapat dilihat pada Gambar 2.8, Li-S menggunakan anoda lithium metal, organik elektrolit dan sulfur komposit sebagai katoda (Manthiram et al., 2014).



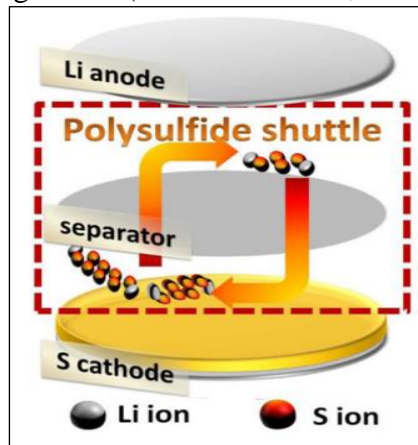
Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Baterai Li-S (Manthiram et al., 2014)

Hal ini memungkinkan terjadinya reaksi elektrokimia, dikarenakan sulfur dalam keadaan terisi maka operasi baterai dimulai dari *discharge*. Persamaan reaksi *charge* dan *discharge* pada baterai Li-S dapat dilihat pada reaksi berikut.



Pada umumnya baterai Li-S memiliki densitas energi yang tinggi karena katoda sulfur memiliki kapasitas 1672 mAhg^{-1} dan anoda logam *lithium* juga mempunyai kapasitas tinggi 3861 mAhg^{-1} . Pada proses *discharge*, ion Li^+ terbentuk pada anoda (logam *lithium*) dan berpindah melalui elektrolit ke katoda (sulfur), sedangkan elektron melewati sirkuit eksternal, menghasilkan Li_2S sebagai hasil akhir pada katoda dengan voltase discharge mencapai 2V.

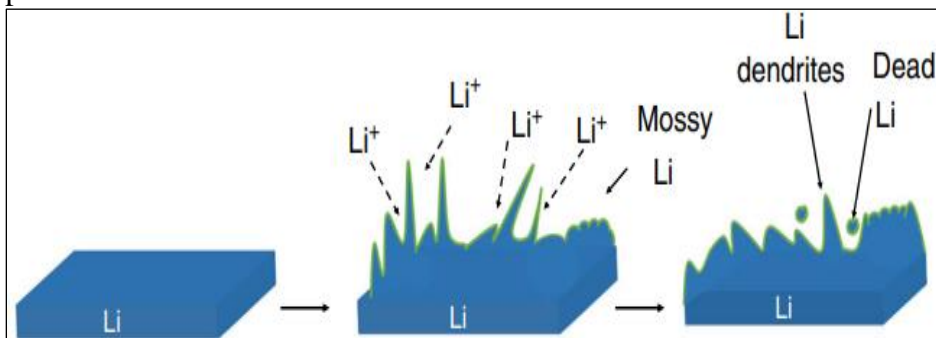
Charge-discharge pada baterai Li-S mempunyai perbedaan dengan baterai li-ion. Baterai Li-ion akan mengalami perubahan pada struktur kristal selama proses *charge* dan *discharge*. Namun, pada baterai Li-S katoda sulfur akan mengalami reaksi yang berubah menjadi *lithium sulfida*, sedangkan anoda mengalami reaksi *dissolution* dan *deposition lithium*. Namun baterai Li-S dalam pembentukan polisulfida mengalami permasalahan yaitu *shuttle effect*. *Shuttle effect* terjadi karena polisulfida yang larut dalam elektrolit baterai larut dan berpindah dari katoda ke anoda yang dapat dilihat pada Gambar 2.9, selain *shuttle effect* juga terdapat masalah seperti konduktivitas baterai sulfur yang rendah (Manthiram et al., 2014).



Gambar 2. 9 Mekanisme Shuttle Effect Li-S (Manthiram et al., 2014)

2.4.1 Anoda Lithium

Dalam sel Li/S, anoda menjadi bagian penting karena kestabilan dari anoda dapat memperpanjang *cycle*. Logam Li mempunyai kapasitas yang tinggi yaitu 3860 mA.h.g^{-1} , namun logam Li mempunyai kelemahan yaitu seperti pembentukan dendrit dan *cycle* yang rendah yang mempengaruhi keamanan baterai *lithium* yang dapat di *charge*, pembentukan dendrit Li dapat dilihat pada Gambar 2.10 (Pathak et al., 2020). Dendrit logam Li tidak separah dengan sistem baterai *lithium* yang lain. Hal ini diakibatkan dengan adanya Polisulfida (PS) terlarut yang mencegah pertumbuhan dendrit Li.



Gambar 2. 10 Pertumbuhan dendrit Logam Li (Pathak et al., 2020)

Dendrit Li akan lebih mudah bereaksi dengan PS terlarut karena luas permukaan spesifiknya yang tinggi, oleh karena itu dendrit li dapat melebur atau larut secara kimiawi. Pada jurnal Ji juga dijelaskan terkait untuk mengatasi permasalahan dendrit pada logam Li menggunakan carbon fiber *current collector* dengan modikasi SiO_2 . Masalah utama dari anoda Li adalah nilai efisiensi coulombik yang rendah. Meskipun masalah logam Li dapat teratasi namun terdapat tidak kestabilan dalam baterai lithium sulfur sehingga *cycle* atau keamanan baterai dalam penggunaan massal masih belum tercapai, hal ini juga yang merupakan masalah sehingga baterai Li-S belum terkomersialisasi (Pathak et al., 2020). Selain lithium terdapat anoda lain yang dapat digunakan dalam baterai Li-S yaitu Silicon Anoda dan anoda carbon yang masih dikembangkan.

2.4.2 Katoda Sulfur

Sulfur menjadi pilihan katoda karena sulfur memiliki kapasitas yang tinggi, dapat dilihat perbandingan katoda sulfur dengan yang lain pada Tabel 2.1. Katoda berbasis sulfur biasanya mengandung paling sedikit 20% dan paling banyak 70% untuk kapasitas yang tinggi. Namun permasalahan terjadi jika partikel sulfur banyak yaitu mengurangi kapasitas *discharge*. Permasalahan *discharge* dapat diatasi dengan penggabungan sulfur dengan material lain dan menjadikannya komposit, namun dengan syarat kandungan sulfur masih 40-70%. Katoda sulfur komposit biasanya dicampur dengan konduktif polimer dan karbon untuk mengurangi kapasitas *discharge*. Pada sulfur yang mempunyai kandungan tinggi karbon dan polimer berperan untuk mengurangi porositas pada katoda sulfur. Selain permasalahan *discharge* terdapat permasalahan lain yaitu sulfur katoda yang belum di campur apapun biasanya larut dalam elektrolit kemudian membentuk polisulfida, polisulfida ini akan berpidah ke anoda dan menyebabkan konduktifitas baterai sulfur rendah (Zhao et al., 2016). Ukuran partikel sulfur dapat menambah performa elektrokimia, semakin kecil ukuran partikel dengan besarnya luas permukaan dan memberikan ikatan yang lebih baik antara katoda sulfur sehingga menurunkan *resistance* pada baterai Li-S.

Tabel 2. 1 Perbandingan Katoda Sulfur pada baterai (Zhao et al., 2016)

Katoda	Sulfur Loading (wt%)	Current Density	Initial Discharge Capacity (mAh/g ⁻¹)	Discharge Capacity (mAh/g ⁻¹) (Cycle)
Sulfur/DPAN	48	0.2 C	1550	1050 (80)
S/PAN/MgNO	38.5	0.1 C	1540	1200 (100)
S/pPAN	40.9	0.5C	1510	1100(100)
S/PAN/Graphene	47.3	0.1 C	719	612 (10)
S/PAN/SiO/C	87	0.36 C	850	600 (100)
S/PAN/SiO ₂ /GO	45	0.2 C	804	810 (100)

Sulfur sangat menarik dikembangkan salah satunya yaitu sulfur komposit sebagai katoda. Sulfur komposit pertama dikembangkan untuk menambah konduktifitas listrik menggunakan karbon. Sulfur *carbon* (S/C) yang digunakan bermacam – macam mulai dari graphene, graphene oxide, hollow karbon, dan karbon fiber, perbandingan S/C dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Manthiram et al., 2014). Semua karbon yang digunakan biasanya berukuran nano partikel sehingga karbon dapat masuk kedalam sulfur untuk mengisi pori dan mengurangi porositas sulfur. S/C telah diketahui untuk menambah kemampuan *cycle* dengan menangkap polisulfida agar tidak pergi dari katoda dan menambah konduktifitas baterai.

Tabel 2. 2 Jenis Sulfur/Karbon Komposit (He et al., 2018)

Material	S % Berat	Metode	Elektrolit	Peforma
<i>Sulfur -graphene nanosheet</i>	22	<i>Heat treatment</i>	LiTFSi	600 mAhg ⁻¹
<i>Nafion – coated sulfur</i>	72	<i>Heat treatment</i>	LiTFSi	960 mAhg ⁻¹
<i>Sulfur-graphene oxide</i>	66	<i>Heat treatment</i>	LiTFSi	954 mAhg ⁻¹
<i>Graphene/PEG-Wrapped sulfur</i>	70	<i>Solution-based</i>	LiTFSi	550 mAhg ⁻¹
<i>Graphene-enveloped sulfur</i>	87	<i>Solution-based</i>	LiTFSi	550 mAhg ⁻¹
<i>Sulfur- hydroxylated graphene</i>	50	<i>Solution-based</i>	LiCF ₃ SO ₃	1021 mAhg ⁻¹

Sulfur juga dapat di modifikasi menggunakan komposit selain karbon dapat berupa konduktif polimer dan mangan oksida. Pada jurnal Liang mangan oksida bertujuan untuk mengatasi masalah *shuttle effect* dari baterai Li-S. Metode yang digunakan yaitu mangan oksida di lapiskan pada permukaan katoda sulfur.

2.5 Mangan Dioksida

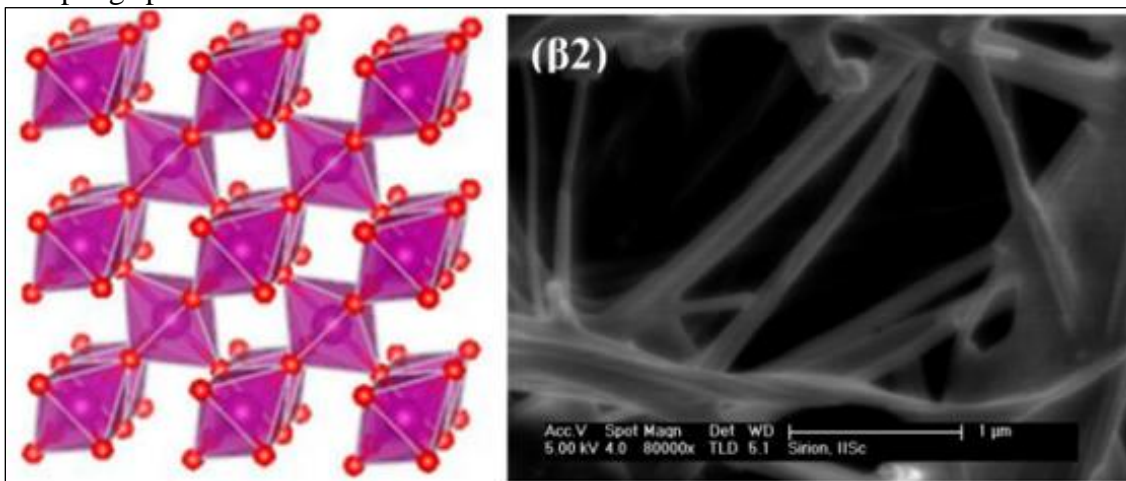
Pada baterai litium banyak riset mengenai katoda MnO_2 yang digunakan karena memiliki sifat konduktifitas dan kapasitas yang baik. Setiap MnO_2 yang digunakan pada baterai Li mempunyai sifat yang berbeda tergantung dengan strukturnya. Struktur baterai MnO_2 yang biasa digunakan untuk baterai Li yaitu *pyrolusite* ($\beta\text{-MnO}_2$), *hollandite* ($\alpha\text{-MnO}_2$), dan *Birnessite* ($\delta\text{-MnO}_2$). Struktur MnO_2 terbentuk dari perlakuan yang diberikan kepada material MnO_2 . Material MnO_2 juga dapat digunakan untuk *coating* dan komposit dengan material katoda baterai Li-S, fungsi dari MnO_2 daripada material lain pada baterai Li-S, lihat Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Perbandingan Komposit MnO_2 pada baterai Li-S(Fan et al., 2018)

Material	% Berat Sulfur	Kapasitas Awal/rate (mAh g ⁻¹ /C)	Kapasitas Akhir (mAhg ⁻¹ /C)
S/ MnO_2 Komposit	75.5	1043/0.2	1072/200
S/TiC	70	1090/0.5	723/650
SnS_2 /S	78	1250/0.2	750/300
S/ Co(OH)_2	75	1014/0.1	653/100
MOF(Ni)/S	82	689/0.1	611/100

2.5.1 *Pyrolusite* ($\beta\text{-MnO}_2$)

Pyrolusite merupakan bentuk yang paling stabil dari semua struktur kristal MnO_2 memiliki bentuk seperti rutil simetris tetragonal di mana rantai tunggal MnO_6 yang digunakan bersama tepi menyebar di sepanjang sumbu-c kristalografi, dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Shin et al., 2020). Rantai ini terhubung ke empat rantai dengan berbagi sudut. Terowongan jaringan MnO_6 dengan penampang persegi yaitu segi delapan dan segi delapan yang memiliki lobang seperti terowongan dengan. Ukuran terowongan (1x1) ini terlalu kecil untuk menampung spesies kimia lain selain ion Li^+ .

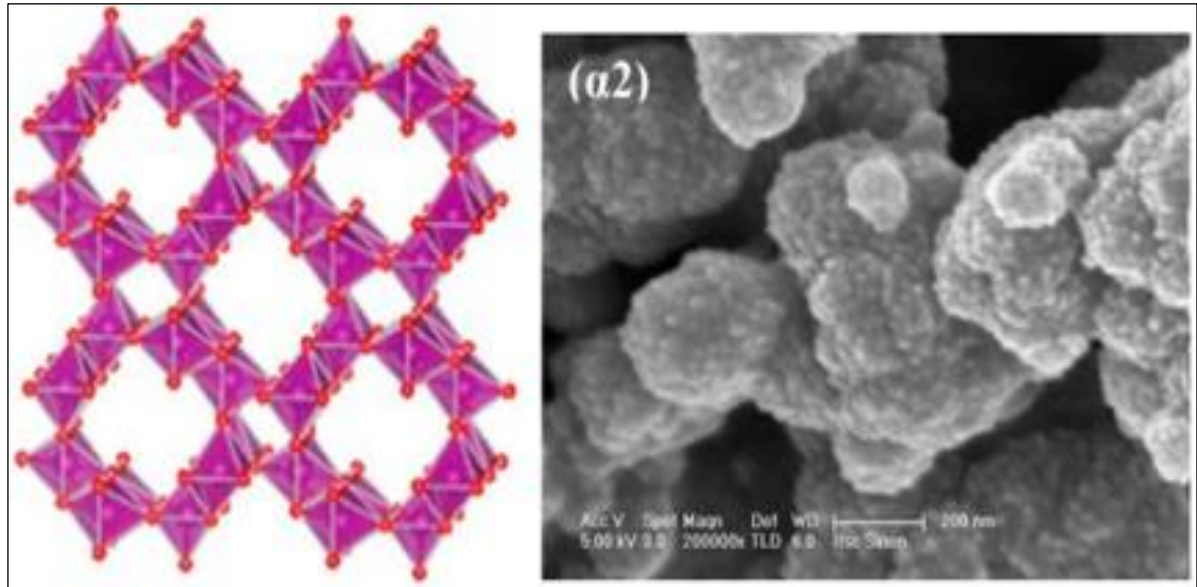


Gambar 2. 11 Bentuk struktur kristal dan morfologi *pyrolusite* ($\beta\text{-MnO}_2$)(Shin et al., 2020)

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

MnO_2 memiliki struktur lain dengan panjang ruang kosongnya yang lebih besar adalah $\alpha\text{-MnO}_2$ yang biasanya digunakan untuk baterai *lithium*. Mineral $\alpha\text{-MnO}_2$ memiliki simetri tetragonal dengan parameter seluler: $a = 9,8776$ dan $c = 2,8654$. Penyisipan kation mendistorsi bentuk, oleh karena itu mineral $\alpha\text{-MnO}_2$ umumnya memiliki simetri monoklinik. Bentuk *Hollandite* mencakup rantai ganda berbagi tepi MnO_6 oktahedral, membentuk terowongan 2x2 yang merambat di sepanjang sumbu-c tetragonal dari unit seluler, bentuk dan morfologi dapat dilihat pada Gambar 2.1232. Bentuk terowongan $\alpha\text{-MnO}_2$ dapat distabilkan dengan bantuan penyisipan Ba^{2+} , K^+ , atau dengan bantuan molekul lain yang nantinya molekul berada di

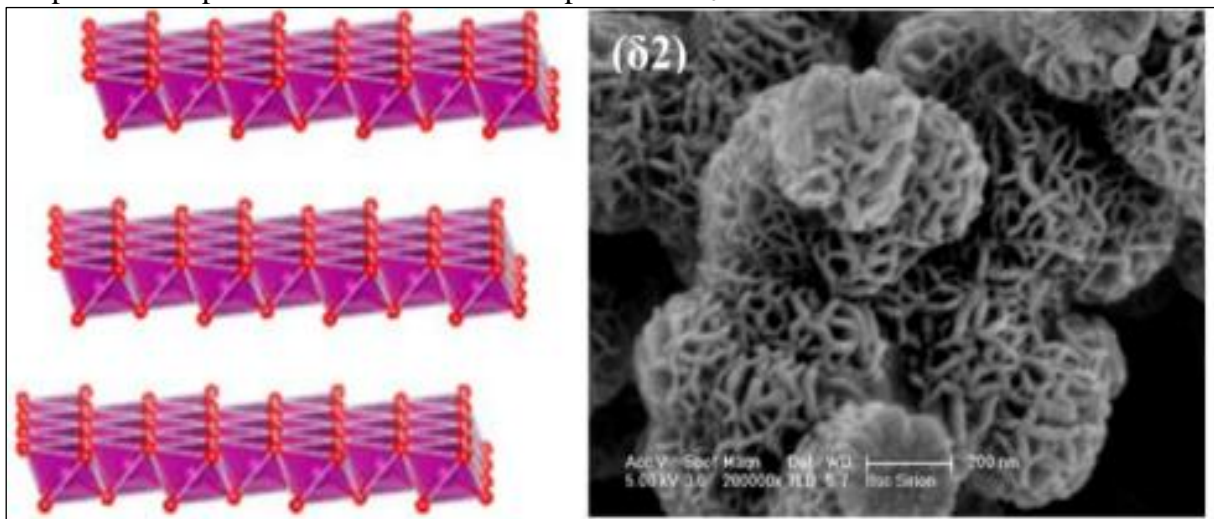
tengah terowongan 2×2 , Modifikasi Mn^{4+} menjadi Mn^{3+} dan O^{2-} dengan bantuan penggunaan OH^- lihat Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Bentuk struktur dan morfologi α - MnO_2 (Shin et al., 2020)

2.5.3 Birnessite (δ - MnO_2)

Birnessite (δ - MnO_2) merupakan struktur lain dari MnO_2 yang disebabkan karena pengaruh panas. δ - MnO_2 mempunyai struktur spinel dengan parameter kisi $a = 8,029 \text{ \AA}$ dan $Z = 16$, struktur dan morfologi δ - MnO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.13. δ - MnO_2 diturunkan langsung dari struktur spinel $Li_{1+x}Mn_{2-x}O_4$ yang terdiri dari suatu susunan oktahedral membentuk lorong (1×1) ke tiga arah kristalografi. δ - MnO_2 merupakan struktur yang memiliki ion penstabil seperti Na^+ atau K^+ diantara lapisan MnO_6 oktahedral lihat Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Bentuk struktur dan morfologi δ - MnO_2 (Shin et al., 2020)

2.6 Polianilin (PANI)

Polianilin adalah polimer konduktif yang berasal dari senyawa yang disintesis dari monomer dengan ikatan kimia. Dari sudut pandang komersial, polimer ini merupakan bahan yang menjanjikan untuk banyak aplikasi, dan polimer ini dapat menggantikan logam dan semikonduktor karena konduktivitas, densitas rendah, dan kemudahan pembuatannya serta stabilitas tinggi. PANI disintesis dari anilin monomer, dapat dilihat pada Tabel 2.4 menunjukkan karakteristik anilin(Merck, 2021).

Tabel 2. 4 Jenis Gugus Ikatan Polianilin (PANI)(Merck, 2021)

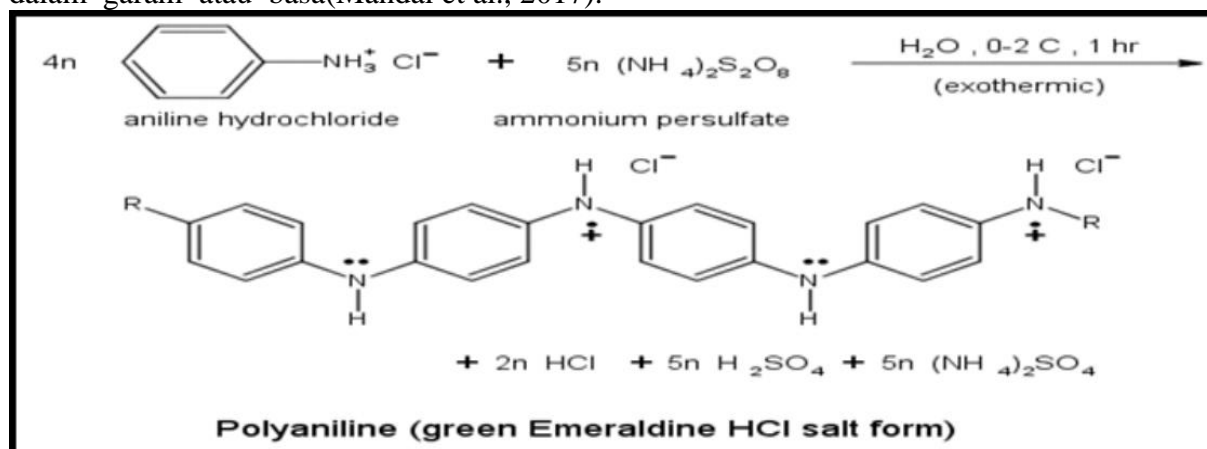
Sifat	Nilai
Berat Molekul	93,13
Kelarutan Dalam Air	36,070 mg/L T. 25°C
Temperatur Degradasi	350°C
Densitas	1.02 g/cm ³
Titik Lebur	-6,3°C
Titik Didih	184 °C
Titik Uap	0,489 mmHg T. 25°C

Morfologi molekul anilin C₆H₅NH₂ adalah heterosiklik heksahedral yang mengandung amina sebagai penyusunnya. Gugus pereduksi terdiri dari molekul berupa cincin benzoid dan dua gugus amina, dan pada gugus pengoksidasi, dapat dilihat pada Tabel 2.5, salah satu cincin *benzoid* diubah menjadi cincin *quinoid* dan gugus amina diubah menjadi sebuah imin.

Tabel 2. 5 Gugus ikatan PANI(Tahalyani et al., 2016)

Material	Wave Number (cm ⁻¹)	Characteristic Peaks
PANI	1600-1450	C=C aromatic str.
	1340-1250	C-N vib.
	1180-1140	S=O str.
	1075-975	N=H=N vib.
	900-670	C-H benzene

Polianilin dibentuk dari monomer reduksi (*y*) dan oksidasi (1-*y*), dapat dilihat pada Gambar 2.14. Kondisi redox dari polianilin ditentukan oleh nilai *y*, dimana dapat beragam dari nol ke tak hingga. Pada *y*=0.5 (setengah oksidasi), polianilin memiliki bentuk emeraldine. Pada *y*=0 (teroksidasi penuh) memiliki bentuk pernigraniline. Pada *y*=1 (tereduksi penuh) memiliki bentuk leucoemeraldine. Pernigraniline dan emeraldine dapat terbentuk dalam garam atau basa(Mandal et al., 2017).



Gambar 2. 14 Gugus Ikatan PANI berdasarkan Warna(Mandal et al., 2017)

Pada Tabel 2.6 menunjukkan konduktivitas dari PANi *emeraldine salt* dan *emeraldine base* serta pengaruh temperatur saat polimerisasi(Putri et al., 2014).

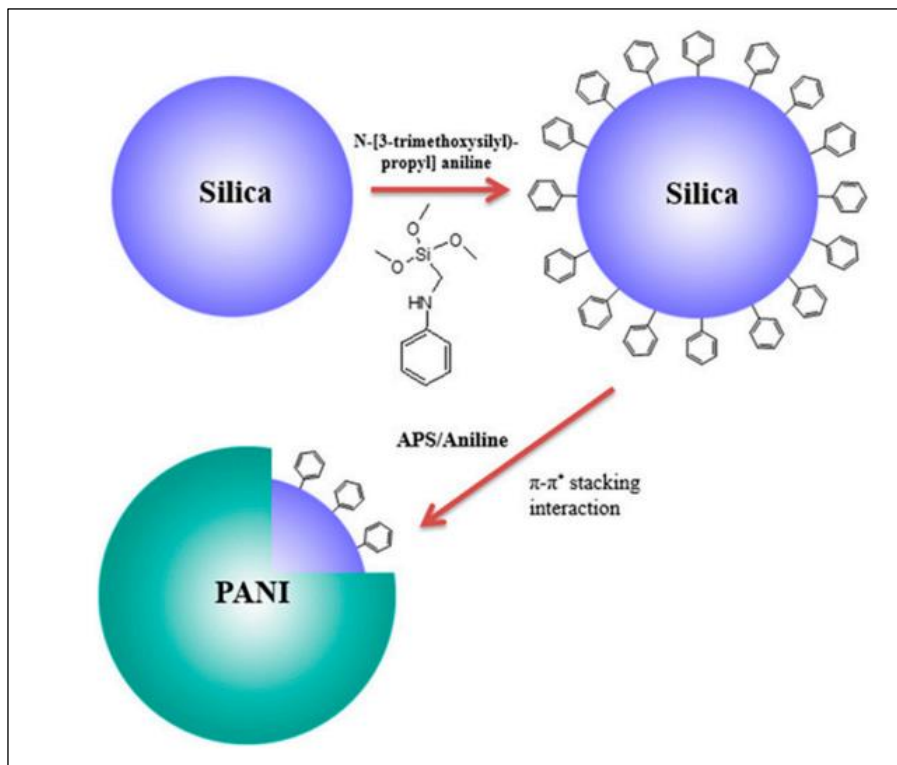
Tabel 2. 6 Konduktivitas PANI saat Polimerisasi (Putri et al., 2014)

Kondisi Reaksi	PANi Salt (Scm ⁻¹)
20°C	4,37
0°C	7.58
+1M HCl pada 20°C	11,90
+1M HCl pada 0°C	9,83

2.7 Coating Katoda

Coating permukaan katoda baterai telah sering digunakan untuk menambah performa elektrokimia baterai. Metode yang sering digunakan yaitu *wet chemical*, *atomic layer deposition* (ALD), dan *dry coating*. Metode ALD menghasilkan lapisan permukaan yang rata dan tipis, namun kelemahan metode ini menggunakan peralatan yang cukup canggih dan mahal (Azaceta et al., 2020). Metode kedua yang sering digunakan untuk katoda baterai yaitu *dry coating* ini dikembangkan dengan cara partikel inti yang digunakan untuk substrat lebih besar dengan bahan pelapis berukuran lebih kecil atau sangat kecil yang biasanya berukuran nano tanpa menggunakan binder maupun pengikat. *dry coating* ini menggunakan interaksi antar ikatan *van der Waals*, selama proses pelapisan partikel kecil akan disisipkan di pori-pori substrat, namun metode ini memiliki kekurangan yaitu menggunakan alat ball mill dan material berukuran nano sehingga cukup sulit diproduksi pada industri (Herzog et al., 2021).

Metode *wet chemical* banyak menjadi pilihan karena mudah digunakan dengan peralatan yang cukup murah dan bahan polimer lihat Gambar 2.15 (Dong et al., 2018), kelemahan metode ini yaitu memerlukan alat pengeringan dan tempat pengadukan cukup besar. Metode *wet chemical* dapat digunakan produksi massal baterai dikarenakan peralatan yang digunakan sederhana dan bisa dalam skala besar.

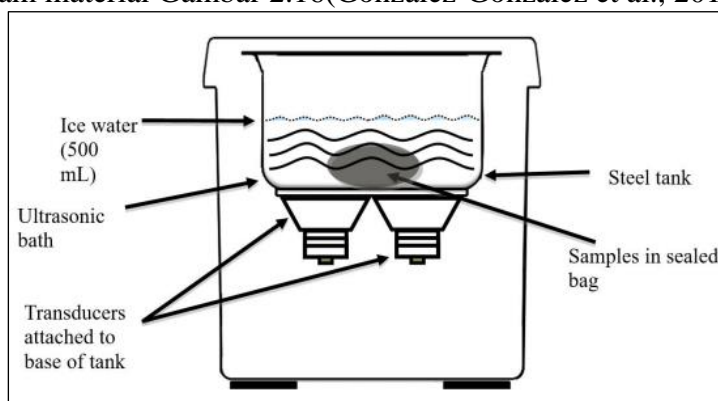


Gambar 2. 15 Coating wet chemical (Dong et al., 2018)

2.8 Sonikasi

Sonikasi adalah teknik yang efektif untuk mencampur, mereaksikan dan membersihkan bahan dengan bantuan gelombang ultrasonik. *Ultrasound* adalah getaran suara pada frekuensi, 20 KHz. Batas atas rentang ultrasonik mencapai 5 MHz untuk gas dan 500 MHz untuk cairan dan padatan. Penggunaan ultrasonik dibagi menjadi dua bagian karena jaraknya yang jauh. Gelombang amplitudo tinggi dari sonikasi dapat digunakan untuk membersihkan, membentuk plastik, dan memodifikasi bahan organik dan anorganik.

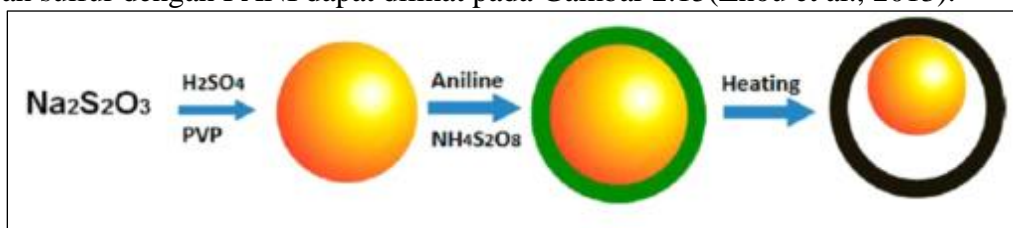
Ultrasonikasi mempunyai efek kimia dan efek fisika, untuk efek fisika dari ultrasonikasi yaitu emulifikasi yang dapat digunakan untuk partikel polimer. Efek kimia sonikasi dapat menyebabkan molekul pada material mengalami perubahan kimia yang disebabkan Panjang gelombang dari sonikasi lebih tinggi daripada molekul yang terdapat pada material. Interaksi ini terjadi dengan media cairan dan gelombang sonikasi dari listrik menyebabkan kenaikan suhu dan tekanan di dalam material Gambar 2.16(González-González et al., 2017)).



Gambar 2. 16 Skema *Ultrasonic Bath*(González-González et al., 2017)

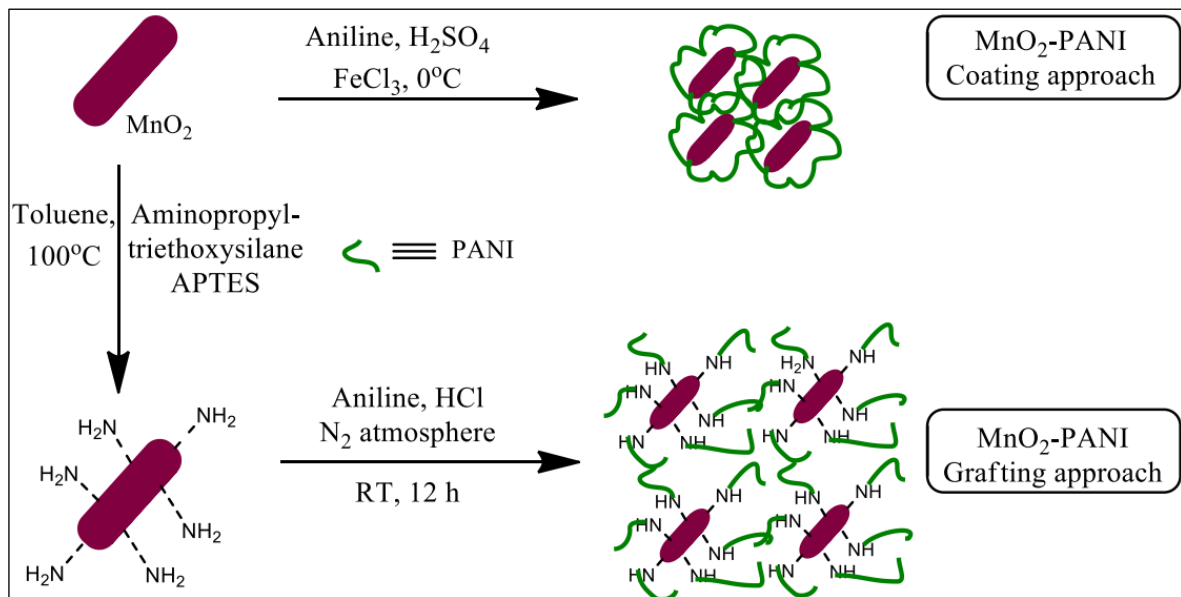
2.9 Coating PANI

Polianilin (PANI) adalah polimer konduktif yang telah banyak digunakan dalam pembuatan komposit Sulfur dengan PANI. PANI dapat digunakan sebagai baik lapisan konduktif bahan berelang atau konduktif matriks melalui metode polimerisasi. Pada jurnal li dijelaskan sulfur/carbon dicoating PANI meningkatkan performa elektrokimia dengan hasil kapasitas *discharge* 636mAhg^{-1} dengan efisiensi kolombik 60% diatas 200 *cycle*. Teknik pelapisan sulfur dengan PANI dengan menggunakan anilin yang dicampur dengan HCl kemudian terpolimerisasi pada luar patikel sulfur yang membentuk lapisan PANI, skema pelapisan sulfur dengan PANI dapat dilihat pada Gambar 2.15(Zhou et al., 2013).



Gambar 2. 17 Skema Pelapisan Sulfur- PANI(Zhou et al., 2013)

Hal ini menjelaskan bahwa belerang yang dilapisi dengan PANI selama pemanasan akan menggabung ke dalam ikatan sulfida yang membentuk ikatan silang struktur. Komposit sulfur dengan PANI dapat ditingkatkan performanya dengan mengecilkan ukuran partikel dari sulfur. Pada baterai MnO_2 baterai Li-Ion dilapisi dengan PANI bertujuan untuk peningkatan performa dan konduktivitas baterai. Pada baterai MnO_2 dilapisi dengan menggunakan stiring selama 30 menit kemudian dikeringkan ke dalam oven 70°C selama 24 jam yang nantinya MnO_2 di *encapsulasi* oleh PANI, proses pelapisan dapat dilihat pada Gambar 2.16(Kulkarni et al., 2021).



Gambar 2. 18 Skema Pelapisan MnO₂-PANI(Kulkarni et al., 2021)

2.10 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Wu tahun 2011 telah berhasil melapisi multi walled carbon nanotube/sulfur (MWCNT/S) dengan polianilin (PANI). Metode untuk pelapisan menggunakan proses *wet coating* menggunakan stiring dalam larutan anilin-HCl dan *ammonium persulfat* sebanyak 0.65g (1:1). Anilin kemudian akan terpolimerisasi dan melapisi MWCNT/S, setelah itu MWCNT/S/PANI di oven selama 24jam. Pada hasil analisisnya PANI yang terlapisi sebanyak 20% dari total berat dibandingkan dengan MWCNT/S, *Pure Sulfur* dan *Pure PANI*, didapat kapasitas PANI/S/MWCNT lebih besar. Kapasitas *discharge* PANI/S/MWCNT yaitu 1334mAhg⁻¹ dengan penurunan sampai 932,4 mAhg⁻¹ pada *cycle* 80 dengan Rct 76,2 Ohm(Wu et al., 2011).

Selanjutnya penelitian Kim tahun 2015 telah berhasil melapisi sulfur/*single walled carbon nanotube* (S/SWNT) dengan PANI. Metode yang digunakan proses *wet coating* menggunakan *stiring* selama 35 menit di dalam larutan anilin-HCl, kemudian serbuk di oven dengan suhu 40°C selama 2 hari. Pada hasil analisisnya SWNT/S/PANI dibandingkan dengan SWNT/S, didapatkan pada *cycle* 100 SWNT/S/PANI mempunyai efisiensi kolumbik sebesar 98% dengan kapasitas 1451 mAhg⁻¹ dan pada 100 *cycle* 1016 mAhg⁻¹ jika dibandingkan SWNT/S hanya dengan kapasitas 1363 mAhg⁻¹ menjadi 702 mAhg⁻¹ pada 2C serta konduktivitasnya bertambah dapat dilihat dari resistance SWNTS/S sebesar 2.2ohm sedangkan SWNTS/S/PANI sebesar 2 ohm(Kim et al., 2015).

Liang pada tahun 2016 telah melakukan sintesis Sulfur/MnO₂ dengan menggunakan metode *wet coating* 0.25 gr KMnO₄ dengan sulfur 1gr di *stirrer* suhu 60°C selama 24 jam dan di oven selama 12jam. Hasil analisisnya S/MnO₂ mempunyai *coulombic efficacy* 98% , penurunan stabilitas yang baik mulai dari 1040 mAhg⁻¹ menjadi 820 mAhg⁻¹ pada 300 *cycle* dengan arus 2 C. Penurunan stabilitas baterai S/MnO₂ 4,8% /100 *cycle* (Liang & Nazar, 2016).

Hasil penelitian dari Zhang pada tahun 2020 melapisi MnO₂ dengan PANI kemudian dicampur dengan polisulfida Li₂S₄ dan diaduk selama 60 menit. Hasil analisis menyatakan elektroda yang dilapisi PANI mempunyai *capacity retention* mencapai 90% pada 100 *cycle* dengan arus 0.5C dan kapasitas *discharge* 1275 mAhg⁻¹ menjadi 1195 mAhg⁻¹. PANI-MnO₂-S dapat bertahan sampai dengan 500 *cycle* dengan arus 1 C dan 2 C(Y. Zhang et al., 2020). Perbandingan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.8.

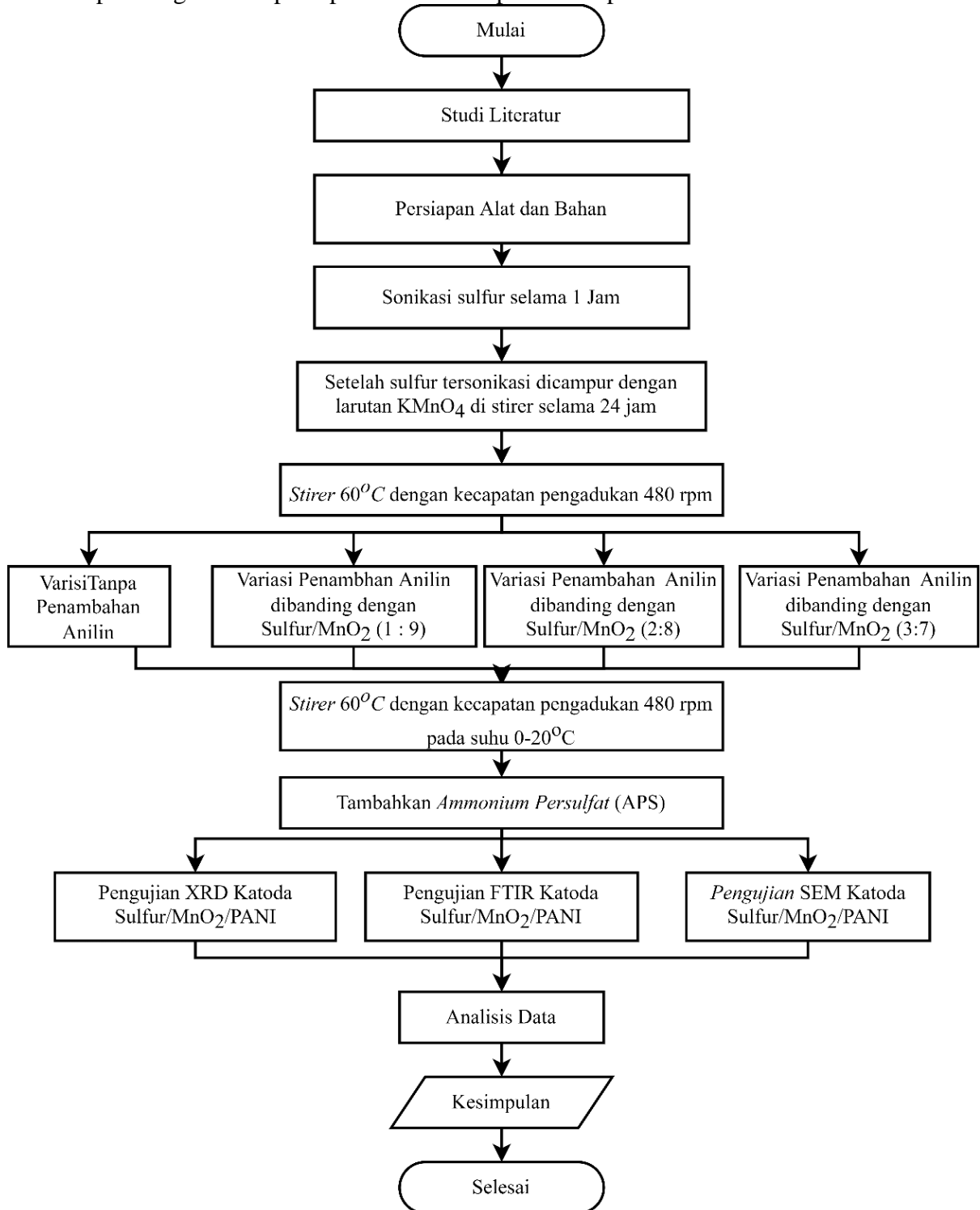
Tabel 2. 7 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Material Katoda	Variasi dan Hasil	Penelitian Sebelumnya
PANI-S/MWCNT	Hasil berat 20% PANI yang di <i>coating</i> menambah kapasitas menjadi 1344 mAhg ⁻¹	(Wu et al., 2011)
PANI-S/SWNT	Hasil <i>coating</i> PANI menambah konduktivitas dibuktikan dengan resistansi menurun 0.2 ohm	(Kim et al., 2015)
S/MnO ₂	Hasil <i>coating</i> MnO ₂ meningkatkan <i>capability</i> dengan penurunan stabilitas 4,8% / 100 <i>cycle</i>	(Liang & Nazar, 2016)
PANI- MnO ₂ - Li ₂ S ₄	Hasil <i>coating</i> PANI meningkatkan efisiensi <i>capacity retention</i> 90% pada 100 <i>cycle</i> dengan arus 0.5C	(Y. Zhang et al., 2020)

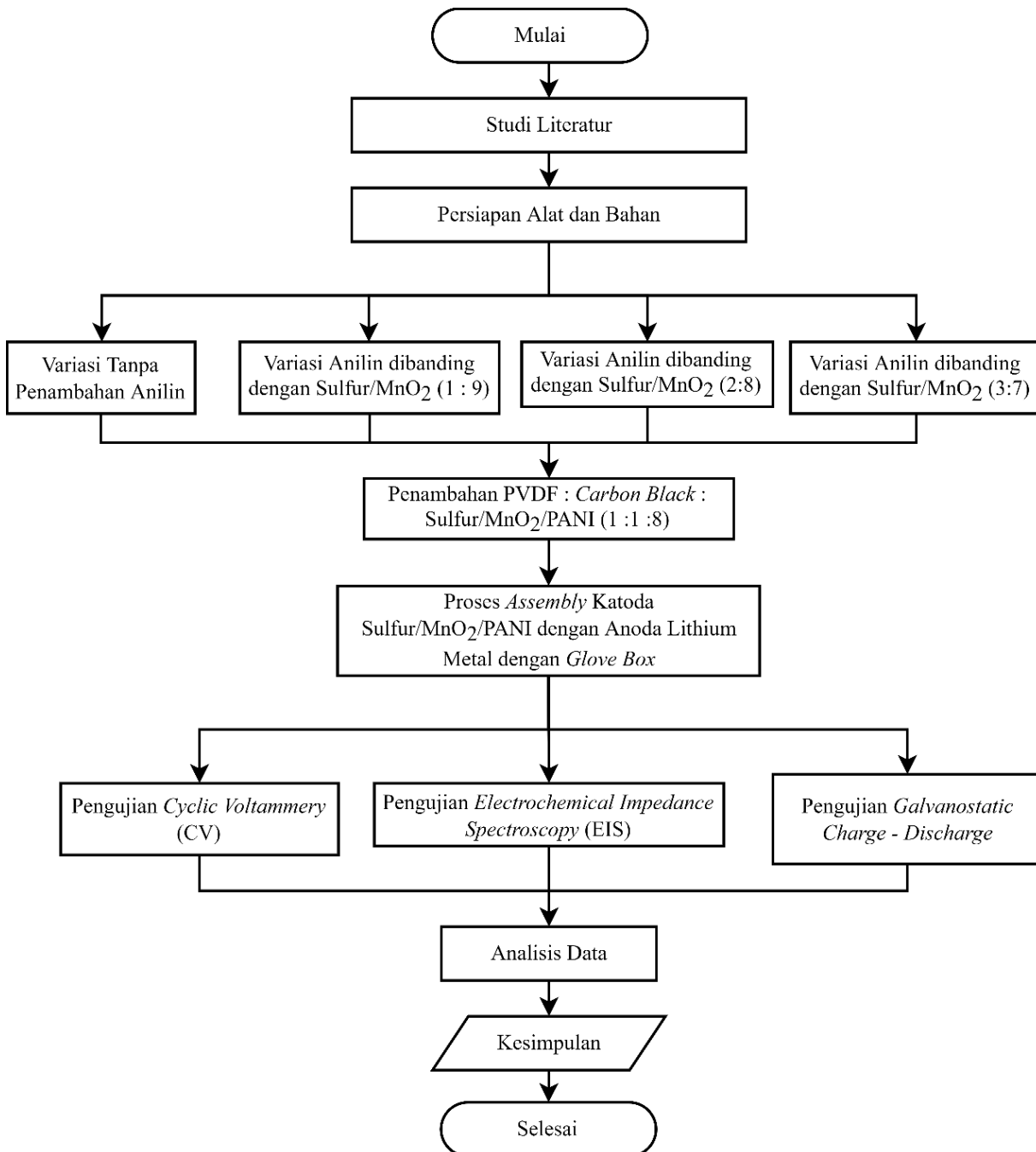
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Analisis Karakterisasi Material



Gambar 3. 2 Diagram Alir Analisis Performa Elektrokimia

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. KMnO_4

Pada penelitian ini KMnO_4 yang digunakan dibeli di *RAS Chemical*, Indonesia digunakan sebagai bahan untuk pembuatan Katoda yang nantinya akan di sintesis menjadi MnO_2 yang digunakan untuk melapisi sulfur dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Kalium Permanganat (KMnO_4) Ras Chemical

2. Sulfur 325 mesh

Penelitian menggunakan sulfur yang merupakan sulfur yang terdapat di pasaran dan mudah didapatkan di Indonesia, sulfur digunakan sebagai bahan untuk pembuatan katoda yang nantinya akan di dilapisi MnO_2 dan polymer PANI pada baterai. Bentuk sulfur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Sulfur ukuran 325 Mesh

3. *Deionisasi Water*

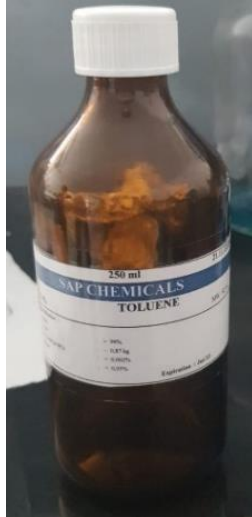
Pada penelitian ini *deionisasi water* yang digunakan dibeli di *Onemed*, Indonesia digunakan sebagai bahan pelarut untuk bahan kimia dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Deionisasi Water

4. Toluena

Toluena yang digunakan pada penelitian ini dibeli dari Sumber Ilmiah Persada, Indonesia yang digunakan untuk proses pemisahan sulfur dilapisi dengan MnO_2 dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Toluena

5. Kertas Filter

Kertas filter pada penelitian ini dibeli di U.D Sukoharjo yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk memfiltrasi / menyaring untuk memisahkan air dan material katoda dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Kertas filter

6. *Acetylene Black*

Acetylene Black digunakan untuk campuran katoda sebelum *assembly* untuk zat aditif pada katoda sulfur/MnO₂/PANI untuk menambah konduktifitas katoda pada baterai bubuk *carbon black* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Acetylene Black

7. *Polyvinylidene fluoride* (PVDF)

Polyvinylidene fluoride digunakan sebagai bahan adesif sebagai pada katoda Sulfur/MnO₂/PANI yang pada prosesnya di campurkan pada saat sebelum assembly, bentuk PVDF dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Polyvinylidene Fluoride (PVDF)

8. Separator

Separator digunakan untuk pemisahan katoda dan anoda pada baterai *lithium*, separator juga ditetesi oleh elektrolit untuk kebutuhan proses elektrokimia bentuk separator dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Separator Baterai Lithium Sulfur

9. Cairan Elektrolit LiTFSi

Cairan elektrolit yang digunakan untuk baterai *lithium-sulfur* yaitu LiTFSi digunakan untuk elektrokimia baterai *lithium-sulfur*, bentuk dari elektrolit LiTFSi dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Elektrolit LiTFSi Baterai Lithium-Sulfur

10. *Lithium Metal*

Lithium metal digunakan sebagai anoda pada pembuatan baterai *lithium* sulfur. *Lithium* di *asassembly* di *glove box* dengan gas argon karena *lithium* merupakan logam yang cepat mengalami oksidasi, bentuk *lithium* metal dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3. 12 Lithium Metal

11. *Aluminium Foil*

Aluminium foil digunakan untuk menutup gelas beaker pada saat proses pengadukan pada *magnetic stirrer* dan aluminium foil digunakan pada saat proses pengovenan katoda material baterai Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Aluminium Foil

12. *Lithium Coin Cell*

Lithium coin cell digunakan untuk *assembly* baterai agar dapat diuji performa elektrokimia pada mesin *Galvanostatic Charge Discharge*, EIS, dan CV, bentuk *lithium* coin cell dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Lithium Coin Cell

13. Gas Argon

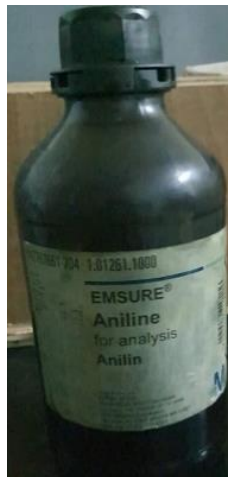
Gas argon digunakan untuk proses *assembly* pada *glove box*, karena *lithium* metal merupakan logam reaktif maka dari itu diperlukan *assembly* pada udara gas yang mempunyai sifat inert atau tidak bereaksi salah satunya gas argon, gas argon yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Gas Argon

14. Anilin

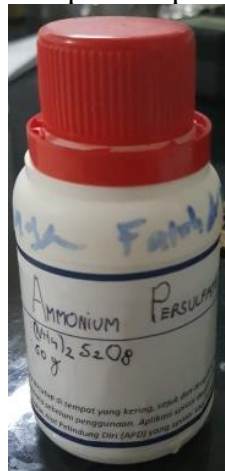
Anilin yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 3.16 untuk digunakan untuk *coating* katoda sulfur/MnO₂ bentuknya anilin berupa cairan berwarna bening.



Gambar 3. 16 Anilin

15. *Ammonium Peroxydisulate* (APS)

Ammonium Peroxydisulate bahan untuk pengoksidasi dan polimerisasi anilin menjadi Polyanilin, serbuk APS mempunyai warna putih dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Ammonium Peroxydisulate (APS)

16. *Hydrochloric Acid* (HCl)

Hydrochloric Acid adalah larutan asam kuat yang nantinya dicampur untuk *polyanilyn* sebagai katalis untuk pada saat polimerisasi, bentuk HCl dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3. 18 *Hydrochloric Acid* (HCl)

17. Cairan *N-Methyl-2-Pyrrolidone* (NMP)

Cairan NMP berfungsi sebagai pelarut *binder* PVDF yang nantinya digunakan untuk merapatkan *carbon black* pada katoda S/MnO₂/PANI, cairan NMP dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3. 19 *N-Methyl-2-Pyrrolidone* (NMP)

3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

Alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Neraca Analitik

Neraca digunakan untuk menimbang senyawa KMnO₄ dan sulfur, neraca analitik yang digunakan terdapat di laboratorium kimia material dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3. 20 Neraca Analitik Laboratorium Kimia Material

2. Lemari Pendingin

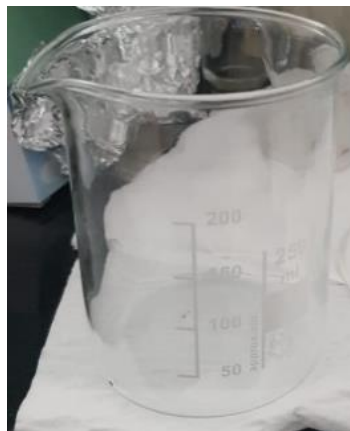
Lemari pendingin digunakan untuk mendinginkan perkusor S/MnO₂/PANI agar dapat terpolimerisasi dan membentuk *coating*, dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3. 21 Lemari Pendingin

3. Gelas Beaker

Gelas beaker digunakan untuk wadah dalam proses bahan yang digunakan untuk pembuatan katoda, gelas beaker 250 ml yang digunakan terdapat pada laboratorium korosi dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3. 22 Gelas Beaker

4. Oven

Oven digunakan untuk pemanasan dan pengeringan pada proses pembuatan katoda oven yang digunakan terdapat pada laboratorium korosi dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Oven

5. *Hot Plate Magnetic Stirrer*

Hot Plate Magnetic Stirrer digunakan untuk proses pencampuran antara senyawa KMnO_4 dan Sulfur dapat dilihat pada Gambar 3.24.



Gambar 3. 24 Hot Magnetic Stirrer

6. *Ultra Sonic Cleaner*

Ultra Sonic Cleaner digunakan untuk proses sonikasi untuk pembersihan senyawa sulfur dari pengotor dapat dilihat pada Gambar 3.25.



Gambar 3. 25 Ultrasonic Cleaner

7. Gelas Labu

Gelas labu laboratorium korosi digunakan untuk menyaring spesimen katoda dapat dilihat pada Gambar 3.26.



Gambar 3. 26 Gelas Labu

8. Gelas Corong

Gelas corong labkorosi digunakan untuk menyaring dengan ditempli kertas filter dapat dilihat pada Gambar 3.27.



Gambar 3. 27 Gelas Corong

9. Glove Box

Glove Box digunakan untuk assembly material baterai yang digunakan untuk pengujian EIS, CV, *Charge* dan *Discharge* pada Laboratorium Korosi dapat dilihat pada Gambar 3.28.



Gambar 3. 28 Glove Box Laboratorium Korosi

10. *X-ray Diffraction* (XRD)

XRD digunakan untuk mengetahui struktur dari S/MnO₂/PANI pada Laboratorium Karakterisasi Material Teknik Material dan Metalurgi ITS dilihat pada Gambar 3.29.



Gambar 3. 29 X-Ray Diffraction

11. *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

SEM digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi dari struktur yang terbentuk dalam katoda S/MnO₂/PANI menggunakan SEM-EDX pada Laboratorium Energi dan Lingkungan ITS dapat dilihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3. 30 *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)*

12. *Fourier Transform Infra-red (FTIR)*

FTIR digunakan untuk pengujian PANI yang nantinya akan dilihat gugus ikatan polimer PANI, alat yang digunakan terdapat di Laboratorium Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material Metalurgi FTIRS-ITS dapat dilihat pada Gambar 3.31.



Gambar 3. 31 FTIR Nicolet IS10

13. *Galvanostatic Charge-Discharge*

Galvanostatic digunakan untuk pengujian pengisian daya dan keluaran daya baterai yang digunakan pada Laboratorium Korosi Teknik Material dan Metalurgi ITS dapat dilihat pada Gambar 3.32.



Gambar 3. 32 Galvonostatic Charge Discharge

14. *Cyclic Voltametric (CV)*

CV digunakan untuk mengetahui puncak oksidasi dan reduksi baterai selama digunakan untuk alat CV sama dengan alat yang digunakan dalam pengujian EIS pada Laboratorium Korosi Teknik Material dan Metalurgi dapat dilihat pada Gambar 3.33.

15. *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

EIS digunakan untuk mengetahui karakteristik elektrokimia dan resistansi bahan katoda dapat dilihat pada Gambar 3.33.



Gambar 3. 33 Alat Pengujian EIS dan CV

3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan beberapa tahap seperti sintesis Sulfur/ MnO_2 dengan menggunakan metode pada jurnal Liang tahun 2016 (Liang & Nazar, 2016) dengan variasi *coating* PANI dilakukan dengan beberapa tahapan.

3.4.1 Sintesis Katoda Sulfur/ MnO_2

Proses sintesis katoda sulfur/ MnO_2 dimulai dari pencampuran sulfur 1 gr dengan deionisasi water sebanyak 150ml kemudian dilakukan proses sonikasi selama 60 menit, proses sonikasi berguna untuk pembersihan larutan sulfur dari pengotor. Proses sonikasi dapat dilihat pada Gambar 3.34.



Gambar 3. 34 Sonikasi sulfur dengan deionisasi water

Saat bubuk sulfur disonikasi langkah selanjutnya yaitu melarutkan $KMnO_4$ dan deionisasi water sebanyak 25 mg dengan 50 ml deionisasi water. Setelah proses sonikasi larutan sulfur difiltrasi menggunakan kertas filter, kemudian dicampurkan dengan larutan $KMnO_4$ kemudian dilakukan proses magnetic stirrer selama 24 jam dengan hot plate pada temperatur $60^\circ C$. Proses pengadukan dapat dilihat pada Gambar 3.35. Setelah itu larutan disaring dan serbuk dikeringkan di oven selama 24 jam dengan suhu $60^\circ C$.



Gambar 3. 35 Proses *magnetic stirrer* sulfur dan $KMnO_4$

3.4.2 Proses Coating PANI Pada Katoda Sulfur/MnO₂

Proses pelapisan PANI ke katoda S/MnO₂ menggunakan metode yang digunakan oleh Kim pada tahun 2015 dengan menggunakan *wet coating* (Kim et al., 2015). Pelapisan menggunakan variasi berat S/MnO₂ dibanding anilin (70:30%, 80:20%, 90:10%). Pembuatan pelapis PANI dengan variasi 7:3 yaitu pencampuran anilin 0.9 gram dan HCl 5 ml dengan konsentrasi 2M di larutkan di larutan deionisasi water 50ml dan etanol 96% 50ml, setelah larut kemudian cairan di stirrer selama 30 menit dengan suhu 0-20°C dengan *magnetic stirrer* (Setyowati et al., 2020). Sulfur/MnO₂ sebanyak 2.1 gram hasil sintesis dimasukkan kedalam larutan PANI kemudian di stirrer selama 30 menit untuk proses pelapisan S/MnO₂ dengan PANI. Setelah pengadukan kemudian ditambahkan *ammonium persulfate* sebanyak 2.25gr dimasukkan untuk proses polemerisasi PANI sampai membentuk larutan hitam-kehijauan. Setelah itu larutan disaring untuk mendapatkan serbuk S/MnO₂/PANI dan di oven selama 24 jam dengan suhu 60°C. Proses pelapisan PANI digunakan kembali untuk pembuatan spesimen S/MnO₂/PANI pada variasi berat S/MnO₂ dan berat coating 80%:20% dan 90%:10%.



Gambar 3. 36 Sulfur/MnO₂/PANI

3.4.3 Proses Pencucian dengan Toluena

Proses pencucian dengan toluena dilakukan untuk menghilangkan sulfur untuk melihat struktur yang terbentuk pada MnO₂. Proses toluena dimulai dengan pengadukan toluena dengan sulfur/MnO₂ kemudian diaduk selama 1 jam dengan suhu 60°C, proses ini dilakukan sebanyak 3 kali untuk menghilangkan sulfur dengan suhu maksimal. Setelah 3 kali pengulangan metode kemudian disaring dengan kertas filter untuk mendapatkan serbuk MnO₂ yang dihilangkan sulfurnya, dapat dilihat pada Gambar 3.37



Gambar 3. 37 Proses Pencucian Sulfur/MnO₂ dengan Toluena

Setelah sulfur dihilangkan kemudian specimen MnO₂ dapat di XRD untuk melihat struktur lapisan coating yang terbentuk pada sulfur/MnO₂.

3.4.4 Proses *Assembly* Baterai *Lithium Sulfur*

Proses *assembly* baterai *lithium sulfur* digunakan untuk melakukan pengujian performa elektrokimia pada mesin uji seperti EIS, CV dan GCD. Sebelum proses *assembly* pada *lithium coin cell* katoda di campur dengan PVDF dan *Carbon Black* untuk meningkatkan konduktivitas katoda sebelum penggabungan dengan anoda *lithium* metal. Proses pencampuran katoda *lithium sulfur* dengan perbandingan berat sulfur/MnO₂/PANI : *Carbon Black* : PVDF (8:1:1) didalam NMP water kemudian di *magnetic stirrer* selama 1 jam, kemudian setelah itu sulfur/MnO₂/PANI yang sudah tercampur dengan *Carbon Black* dan PVDF dikeringkan pada suhu 60°C selama 4 jam. Sulfur/MnO₂/PANI yang telah dikeringkan siap untuk di *assembly* untuk katoda baterai *lithium sulfur*.

Proses *Assembly* dimulai dari anoda *lithium* metal kemudian ditetesi elektrolit LiTFSi sebanyak 3-4 tetes. Setelah anoda terpasang kemudian di lapiasi separator dan ditetesi lagi oleh elektrolit sebanyak 3-4 tetes. Kemudian di pasang katoda dan ditetesi lagi elektrolit 3-4 tetes, setelah itu dipasang *ballast* dan ring kemudian ditutup dengan penutup *lithium coin cell*. Setelah *lithium coin cell* terpasang kemudian di press dengan mesing pressing dengan kekuatan mencapai 10 MPa agar *lithium coin cell* rapat dan dapat digunakan untuk proses pengujian elektrokimia pada mesin uji CV, EIS dan GCD, semua proses dilakukan dengan di *glove box* dengan gas argon. Bentuk *lithium coin cell* yang sudah terassembly dapat dilihat pada Gambar 3.38.

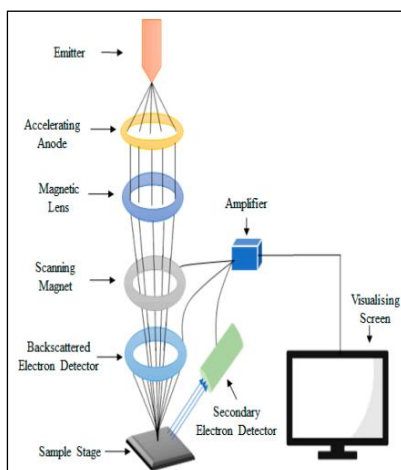


Gambar 3. 38 Lithium Coin Cell CR 2023

3.5 Pengujian Morfologi *Scanning Electron Microscopy*

Pengujian karakterisasi material digunakan untuk melihat morfologi pada katoda S/MnO₂/PANI yang terbentuk menggunakan SEM. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah suatu alat yang dipergunakan untuk melihat ukuran partikel dan struktur permukaan suatu zat, partikel maupun cairan dengan perbesaran sampai ukuran micro maupun nano. Prinsip kerja SEM yaitu cahaya ditembakkan menghasilkan berkas elektron, anoda menangkap berkas elektron dan mengarahkannya ke sampel, pemindai membaca struktur permukaan, sekunder menangkap sinyal, dan elektron dikembalikan ke sistem kontrol sehingga Gambar dapat dilihat pada monitor dan dicetak bila diperlukan. Terdapat langkah untuk pengujian SEM yaitu

1. Sampel serbuk Sulfur/MnO₂ yang berbentuk serbuk dimasukkan ke dalam holder.
2. Holder dimasukkan mesin uji SEM dan dilihat oleh operator mesin SEM muncul pada permukaan komputer. Pengujian ini dilakukan pada divisi karakterisasi material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS. Skema atau cara kerja dapat dilihat pada Gambar 3.39.



Gambar 3. 39 Skema Alat Uji SEM(Sharma et al., 2019)

3.6 Pengujian Fasa X-Ray Diffraction (XRD)

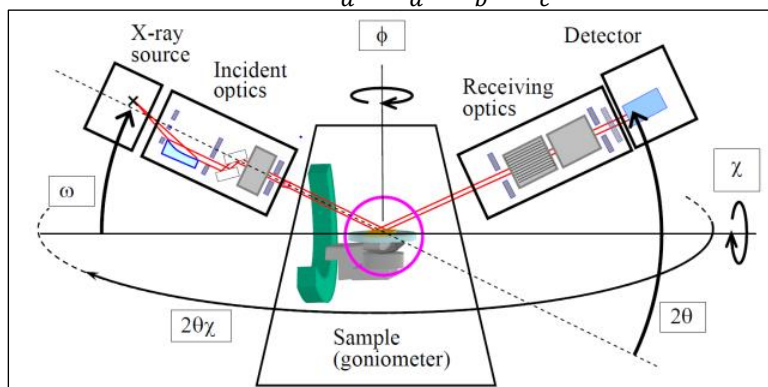
Pengujian karakterisasi material yang kedua yaitu XRD menggunakan Philip Analytical Tools dan sinar-X dengan rentang sudut panjang $5^\circ - 90^\circ$ dan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ 1,54056, pengujian XRD yang dilakukan di divisi karakterisasi material di Departemen Material dan Metalurgi. Uji XRD dilakukan pada sampel Sulfur/ MnO_2 dengan varisi *coating* PANI. Langkah pengujian XRD yaitu

1. Menyiapkan spesimen uji dan menyesuaikan ukuran berat maupun ukuran yang diperbolehkan untuk dalam analisis sinar-X.
2. Sampel ditempatkan pada *holder* yang telah disediakan titik fokus hamburan sinar-X, letaknya di tengah piring yang digunakan sebagai tempat.
3. Piring tipis dengan lubang di tengah yang menggunakan lem di bagian belakang untuk mencegah pelet jatuh. piring akan berputar. Untuk sampel bubuk, gunakan piring yang dilapisi plastik.
4. Saat sampel berputar 2θ , pahat berputar, pola difraksi sinar-X dicatat sebagai kurva intensitas vs. sudut difraksi.

Secara umum, prinsip kerja dari mesin uji XRD dapat dilihat pada Gambar 3.40. Hasil dari XRD dapat digunakan untuk menghitung *crystallite* dapat dilihat pada persamaan 3.1, serta perhitungan parameter kisi pada persamaan 3.2.

$$D = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta} \dots \dots \dots 3.1$$

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

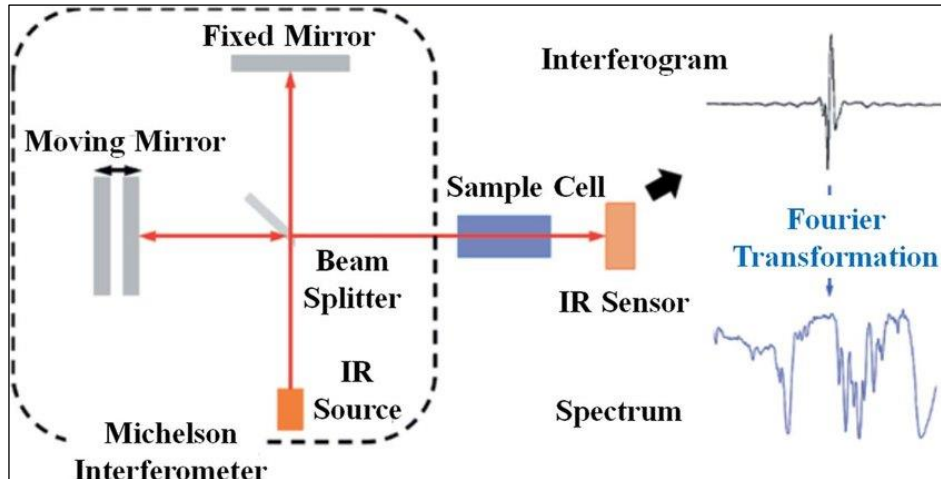


Gambar 3. 40 Skema Alat Uji XRD (Inaba et al., 2013)

3.7 Pengujian Fourier Transform Infra-red (FTIR)

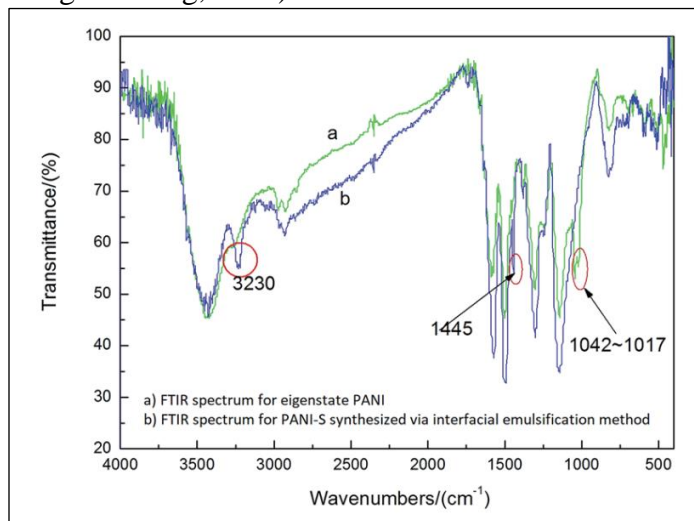
Pengujian FTIR untuk katoda S/ MnO_2 /PANI dilakukan dengan menggunakan alat Thermo Scientific Nicolet IS10 di divisi karakterisasi material di Departemen Teknik Material dan

Metalurgi FTIRS ITS. Uji FTIR mempunyai tujuan untuk mengkonfirmasi adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada benda uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energi dan material, ketika benda uji terkena sinar inframerah, energi yang dipancarkan oleh sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan atomisasi atau eksitasi elektronik sehingga menyebabkan atom-atom pada benda uji bergetar, skema pengujian FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.41.



Gambar 3. 41 Skema Pengujian FTIR(Gandomi et al., 2018)

Besarnya energi getaran setiap komponen molekul tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat dalam molekul S/MnO₂/PANI, PANI pada katoda dapat dilihat pada uji FTIR lihat pada Gambar 3.42(Wang & Zhang, 2020).

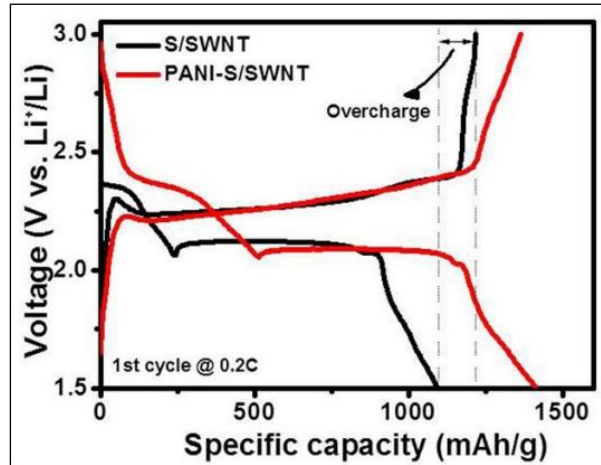


Gambar 3. 42 Spektrum PANI (a) dan PANI/S (b) (Wang & Zhang, 2020)

3.8 Pengujian *Galvanostatic Charge and Discharge* (GCD)

Pengujian *charge / discharge* digunakan untuk mengetahui kemampuan katoda S/MnO₂ dengan anoda *lithium* dalam menyimpan energi atau kapasitas penyimpanan energi pada baterai *lithium-sulfur*. Pengujian *charge/discharge* dilakukan di laboratorium analisa kegagalan dan korosi Teknik Material dan Metalurgi. Nilai C yang digunakan adalah 0,2C. Energi atau kapasitas muatan dinyatakan dalam mAh/gram dengan nilai *efficiency coulombic* dapat dihitung dengan persamaan 3.3. Pengujian pengisian muatan dilakukan dengan rapat arus konstan. Dimana I adalah rapat arus dan t adalah waktu pengujian *Galvanostatic charge/discharge* (GCD), grafik hasil GCD dapat dilihat pada Gambar 3.42.

$$Efficiency\ Coulombic = \frac{Discharge}{Charge} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$



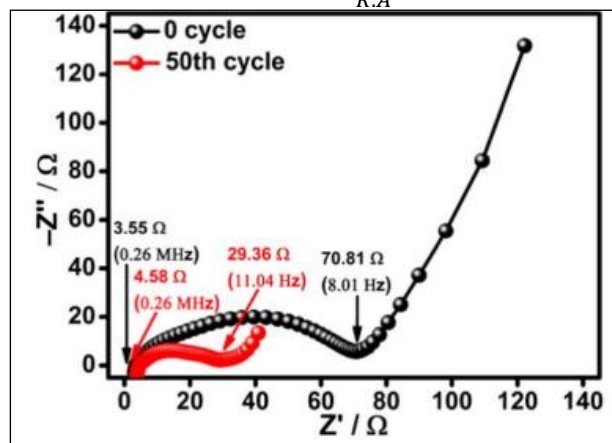
Gambar 3. 43 Grafik Uji lithium-sulfur (Guo & Liu, 2019)

3.9 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) adalah metode untuk menganalisis elektroda sulfur/MnO₂ terhadap potensial AC pada amplitudo rendah (~5 mV) pada rentang frekuensi. Spektrokopi impedansi AC adalah teknik yang sangat baik untuk menentukan parameter kinetik dari proses elektroda termasuk elektrolit, lapisan, transfer muatan, dan difusi Li⁺.

Resistensi transfer muatan (R_{ct}) adalah salah satu factor penting untuk mengkarakterisasi kecepatan reaksi elektroda secara kuantitatif. Biasanya, resistansi transfer muatan yang besar menunjukkan reaksi elektrokimia yang lambat. R_{ct} dapat dihitung dari spektroskopi impedansi elektrokimia dengan nilai yang sama dengan diameter setengah lingkaran di daerah frekuensi menengah pada baterai *lithium* sulfur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.43. Tegangan yang digunakan adalah 5 mV dan frekuensi 0.1-1.000.000Hz, perhitungan konduktivitas dapat dihitung dengan persamaan 3.4 alat yang digunakan terdapat pada Laboratorium Korosi dan Analisa kegagalan Teknik Material FTIRS-ITS.

$$\sigma = \frac{l}{RA} \dots \dots \dots 3.4$$

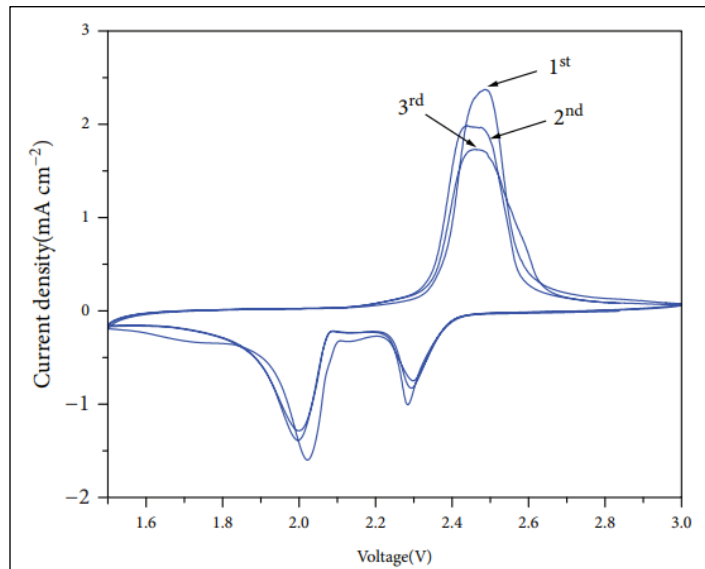


Gambar 3. 44 Contoh Kurva Lithium Sulfur Uji EIS (Ma et al., 2016)

3.10 Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) adalah suatu strategi untuk mengetahui elektroanalitik yang didasarkan pada prinsip elektrolisis dari suatu zat larutan elektrolit yang mengandung dan merespon terjadi pada anoda loga *lithium* dengan jenis katoda S/MnO₂, dengan susunan elektrolit tersebut. Elektroda dalam sel elektrokimia tersusun dari elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda asisten.

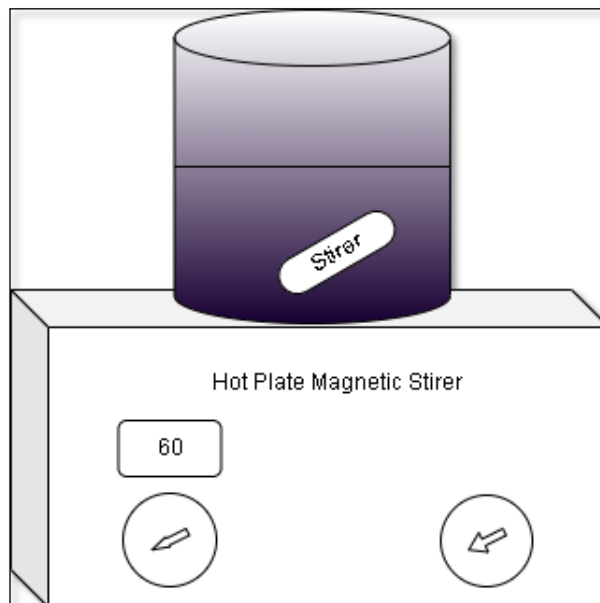
Elektroda kerja adalah tempat respons elektrokimia yang diamati terjadi seperti arus yang dibuat. Elektroda kerja sebagian besar terbuat dari logam, berbahan semikonduktor dan karbon. Pekerjaan elektroda referensi adalah untuk membandingkan kontras potensial pada katoda dalam sel elektrokimia, sebagai aturan menggunakan SCE kalomel. Elektroda pembantu adalah anoda yang berfungsi sebagai tempat berkumpulnya elektron sehingga arus dapat melewati sel tetapi tidak mempengaruhi respon pada katoda kerja atau dapat disebut logam inert. Uji CV yang digunakan menggunakan *scan rate* 0.1 mVs^{-1} dan rentang voltase $1.8\text{V} - 3\text{V}$. Grafik uji CV dapat dilihat pada Gambar 3.44.



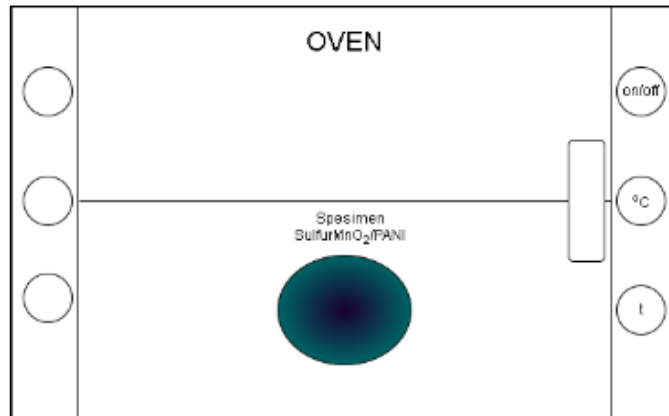
Gambar 3. 45 Contoh grafik Uji CV lithium sulfur (Tao et al., 2019)

3.11 Rancangan Penelitian

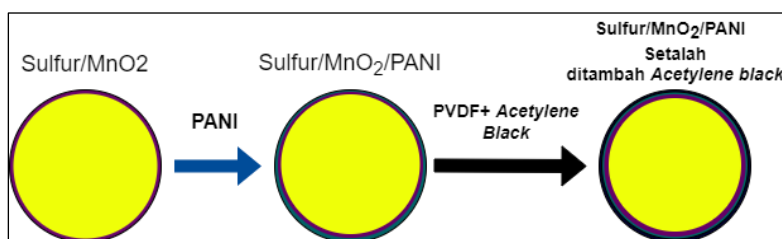
Berikut merupakan skematik peralatan yang digunakan dalam proses sintesis baterai *lithium* sulfur/ MnO_2 dengan coating PANI pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.45 sampai 3.48.



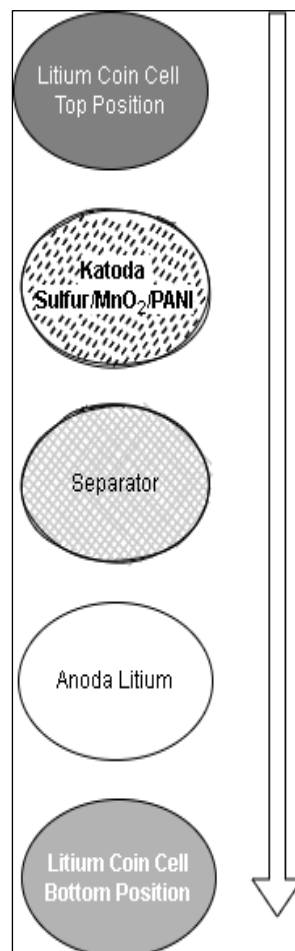
Gambar 3. 46 Skema peralatan proses sintesis



Gambar 3. 47 Skema peralatan proses pengeringan



Gambar 3. 48 Skema perubahan katoda Sulfur/MnO₂ /PANI



Gambar 3. 49 Skema proses assembly

Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian

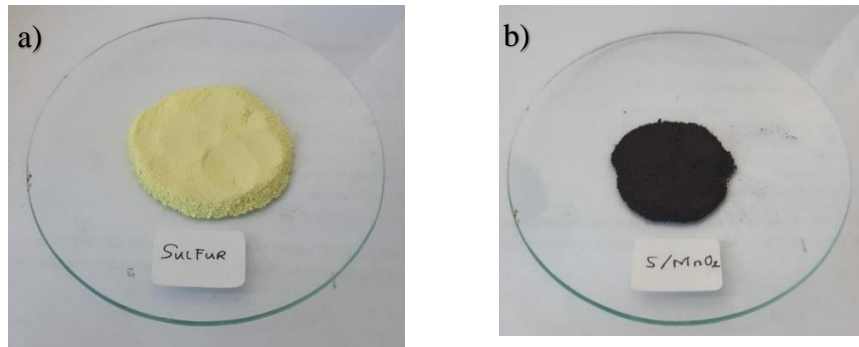
Perbandingan Berat Sulfur : KMnO ₄	Perbandingan Berat S/MnO ₂ : Anilin	Kakterisasi Material			Elektrokimia Baterai		
		XRD	SEM EDS	FTIR	GCD	CV	EIS
4 : 1	100%:0%	V	V	V	V	V	V
	90%:10%	V	V	V	V	V	V
	80%:20%	V	V	V	V	V	V
	70%:30%	V	V	V	V	V	V

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

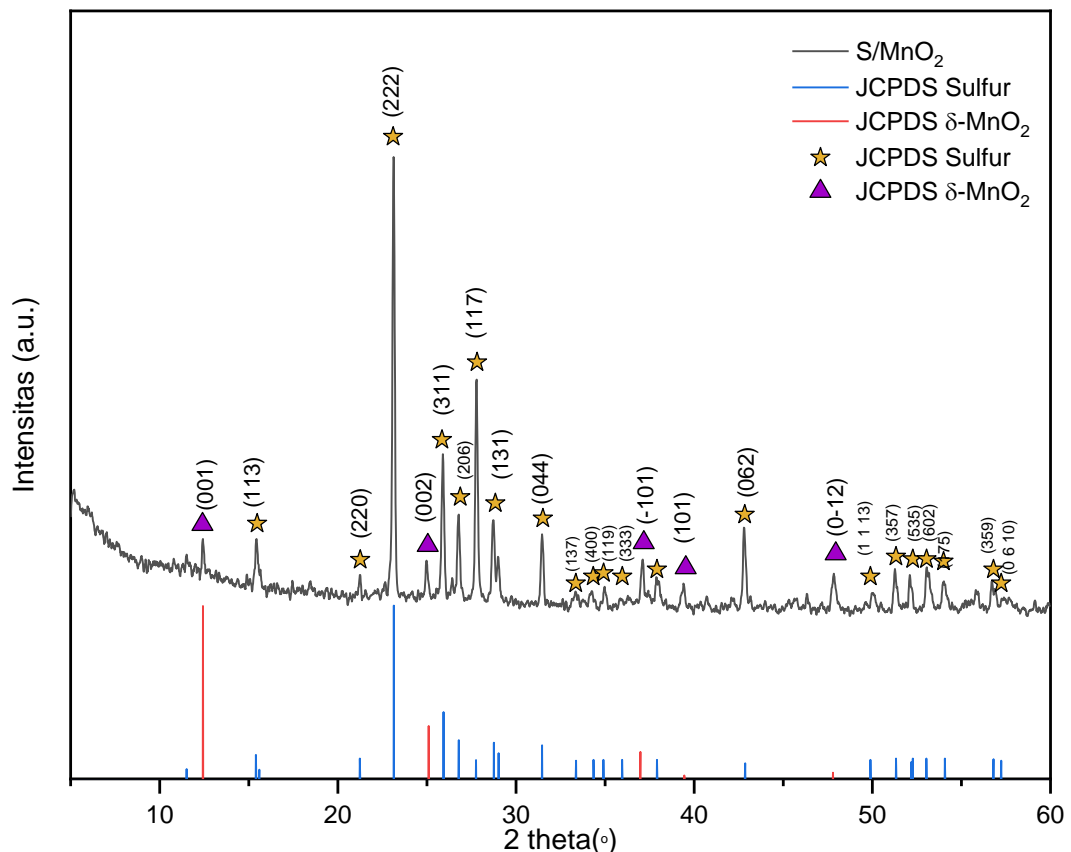
4.1 Hasil Sintesis S/MnO₂

Sintesis sulfur 325 mesh dengan KMnO₄ menggunakan metode yang digunakan Liang 2016, sebelum melakukan sintesis sulfur di ultrasonikasi untuk membersihkan sulfur dari zat pengotor. Setelah sonikasi sulfur dan KMnO₄ perbandingan 4:1 dicampur deionisasi water dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 24 jam dengan suhu 60°C (Liang & Nazar, 2016). Hasil sintesis sulfur dengan KMnO₄ menjadi S/MnO₂ mengubah warna sulfur yang semula kuning menjadi coklat kehitaman lihat Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Serbuk sulfur (a) dan serbuk S/MnO₂ hasil sintesis (b)

Perubahan itu terbentuk dikarenakan KMnO₄ yang di proses berubah menjadi MnO₂ dan melapisi serbuk sulfur. Reaksi menunjukkan bahwa hasil produk reduksi yaitu MnO₂ hasil sintesis. Struktur MnO₂ yang terbentuk yaitu birnissite MnO₂ (δ -MnO₂). Mudahnya proses sintesis menjadikan metode ini sangat cocok untuk digunakan dalam produksi masal.

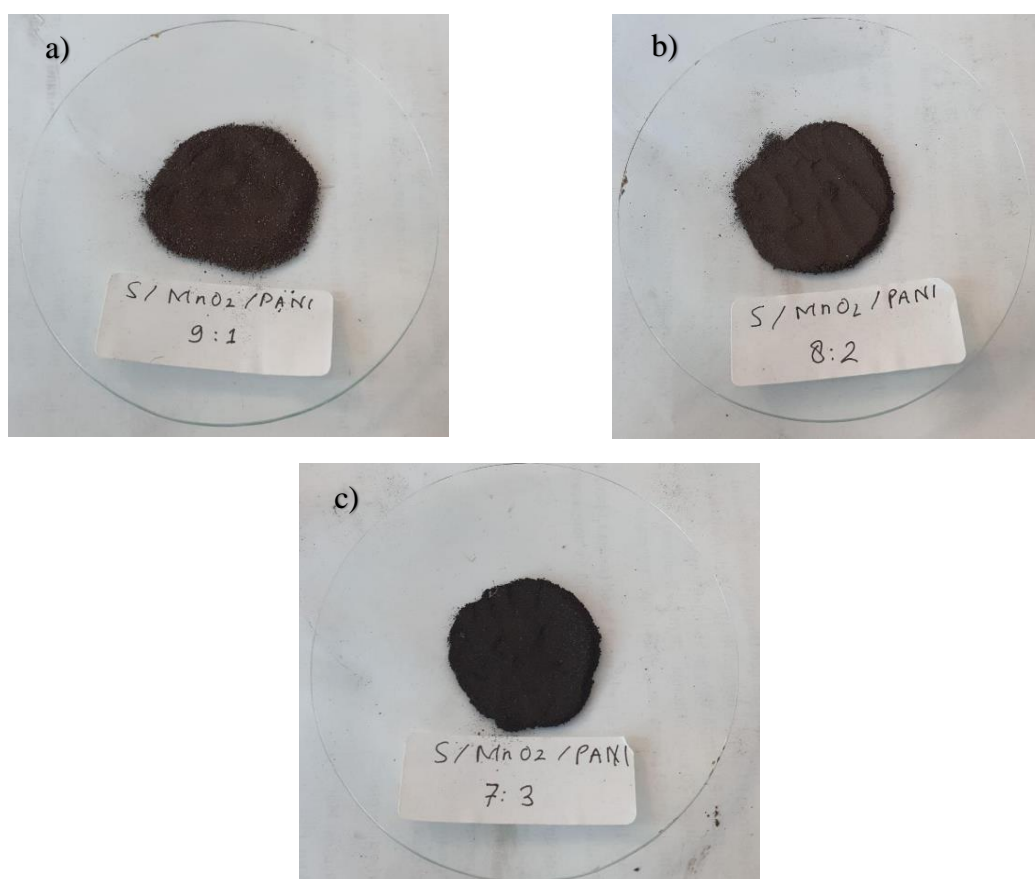


Gambar 4. 2 Hasil XRD sintesis S/MnO₂

Sulfur/ δ MnO_2 (S/ MnO_2) terbukti terbentuk melalui pengujian XRD didapatkan sesuai peak dari sulfur dengan kode 96-231-085 dan peak δ MnO_2 dengan kode 96-901-0157 pada x-pert highscore dengan database COD2021. Gambar 4.2 merupakan hasil XRD dari S/ MnO_2 hasil sintesis dari penelitian.

4.2 Hasil *Coating* PANI pada S/ MnO_2

Polianilin (PANI) merupakan konduktif polimer yang mempunyai konduktivitas sebesar 10^2 - 10^8 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Min et al., 2018). PANI sangat cocok digunakan untuk menambah performa baterai jenis *lithium-sulfur* dikarenakan baterai ini mempunyai kelemahan konduktivitas rendah dan tidak tahan temperature tinggi. *Coating* PANI dilakukan dengan metode polimerisasi dari anilin yang diberi *dopping* HCl. Proses pertama dalam membuat S/ MnO_2 /PANI yaitu menyiapkan sistensis S/ MnO_2 kemudian dilarutkan ke HCl, alkohol dan deionisasi water kemudian di strirer. Setelah distirer berapa menit ditambahkan anilin dan distirer selama 15 menit dengan temperature 0-20°C. Setelah itu dalam keadaan dingin di tambahkan ammonium persulfate selama 30 menit, terakhir serbuk di saring dan dikeringkan di oven selama 12 jam suhu 60°C (Prasutiyo et al., 2020). Pada penelitian ini menggunakan variasi *coating* PANI dengan berat 10%, 20%, dan 30% dibanding S/ MnO_2 . Hasil serbuk variasi *coating* PANI 10%, 20%, dan 30% lihat Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Serbuk variasi coating (a) PANI 10%, (b) 20%, dan (c) 30%

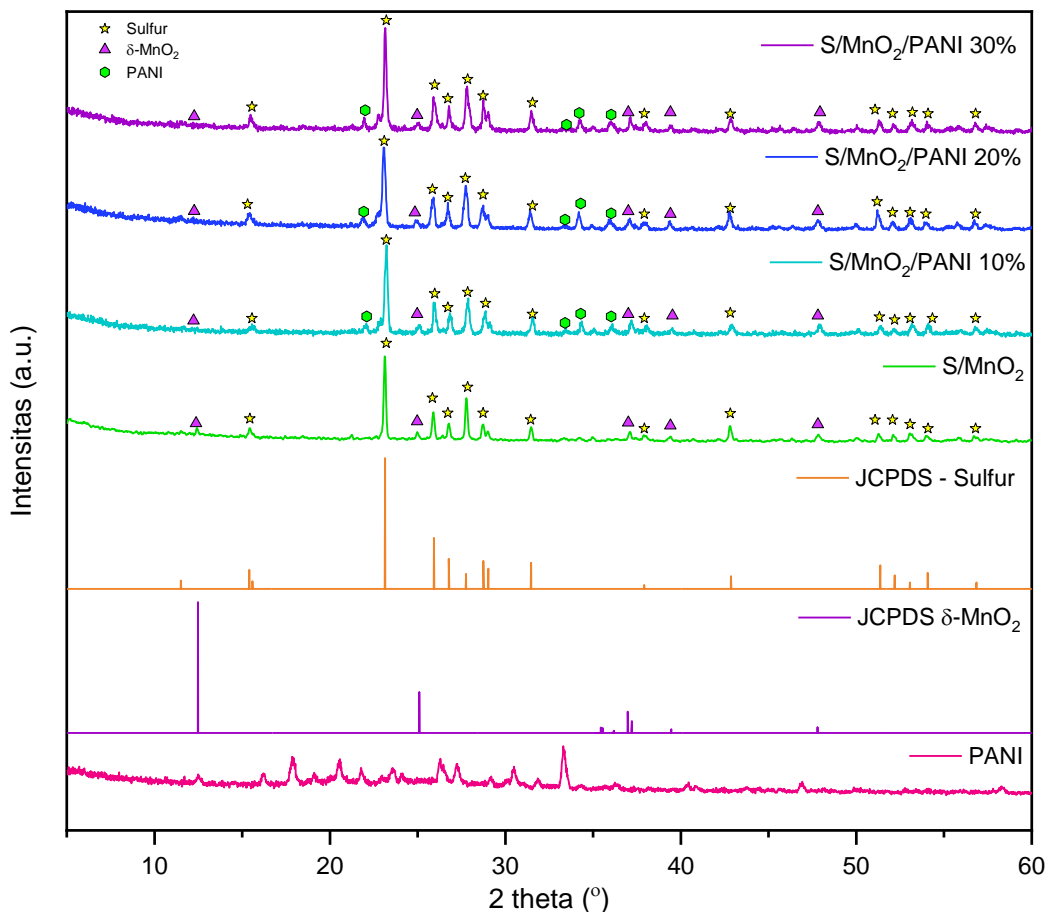
Secara visual dari ketiga variasi seiring ditambahkan pelapisan PANI pada S/ MnO_2 (S/ MnO_2 /PANI) warna spesimen lebih gelap daripada yang tidak terlapsi PANI namun perbedaan yang terlihat tidak signifikan. Semua warna serbuk hitam kecoklatan. Setelah proses pelapisan PANI, dilakukan uji karakterisasi dengan XRD, FTIR dan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dari material S/ MnO_2 /PANI.

4.3 Hasil Karakterisasi S/MnO₂/PANI

Hasil pengujian karakterisasi dari penelitian baterai *lithium-sulfur* adalah untuk mengetahui hasil sintesis dan morfologi S/MnO₂. Karakterisasi juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi *coating* PANI 10%, 20% dan 30% terhadap morfologi S/MnO₂/PANI dengan pengujian karakterisasi XRD, FTIR dan SEM-EDX.

4.3.1 Analisis Uji XRD S/MnO₂/PANI

Hasil karakterisasi uji XRD menggunakan alat Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan range sudut $2\theta = 5^\circ-90^\circ$ dan Panjang gelombang sebesar 1.54060 Å dengan generator arus 30 mA serta voltase 40 kV. Pengujian XRD menggunakan sampel S/MnO₂ hasil sintesis dan S/MnO₂/PANI 10%, 20% serta 30% hasil dari proses *coating*. Analisis hasil XRD menggunakan *software High Score Plus* untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dan struktur kristal pada sampel S/MnO₂/PANI. Analisis *peak* struktur menggunakan acuan pada *High Score Plus* dengan kode COD 2021 96-231-0805 untuk sulfur, kode COD 2021 96-901-0157 acuan untuk δ -MnO₂ dan PANI menggunakan hasil XRD spesimen yang di polimerisasi oleh penulis sendiri. Hasil pengujian XRD dengan variasi berat *coating* 10%, 20% dan 30% dapat dilihat pada Gambar 4.4 yang menjelaskan grafik semua sampel yang sudah terkrystalin dan terpolimerisasi sesuai dengan acuan yang digunakan, Hal ini membuktikan metode sintesis dan *coating* yang digunakan telah mampu membentuk struktur sulfur, δ -MnO₂ dan PANI.



Gambar 4. 4 Hasil XRD S/MnO₂/PANI

Pola difraksi hasil sinar-x untuk serbuk S/MnO₂/PANI dapat diketahui peak masing-masing material didapat peak sulfur, δ -MnO₂, dan PANI. Peak sulfur ditemukan di tunjukan pada gambar dengan point bintang kuning ditemukan 12 peak sulfur yang sesuai dengan acuan, pada theta $23,14^\circ$ merupakan puncak intensitas tertinggi dari peak sulfur kode 96-231-805. δ -

MnO₂ juga ditemukan pada peak spesimen ditunjukkan dengan Gambar segitiga ungu, ditemukan 5 peak dengan intensitas tertinggi pada jurnal acuan pada theta 12,48°. Namun intensitas tertinggi δ-MnO₂ kecil dikarenakan kandungan MnO₂ pada spesimen kecil hanya untuk membentuk lapisan *coating* tipis pada spesimen yang bertujuan untuk menurunkan resistansi di karenakan elektron yang dihasilkan lebih banyak (Lee et al., 2015). Peak PANI saat dengan metode polimerisasi ditemukan sebanyak 4 peak dengan intensitas tertinggi sesuai jurnal dhivay pada theta 22,4° (Dhivya et al., 2019). Intensitas peak PANI tertinggi pada variasi *coating* 30% sebesar 120, dapat diketahui pada 0% PANI tidak terdapat peak, 10% mempunyai intensitas 90 dan 20% intensitas sebesar 105. Seiring ditambahkannya PANI bertambah juga peak intensitas teringgi mulai dari 0% sampai 30%. PANI merupakan material polimer sehingga jika diujikan XRD tidak terlalu signifikan terlihat dikarenakan struktur polimer amorfus. Karakterisasi PANI lebih dijelaskan karakterisasnya pada uji FTIR.

Pengaruh variasi *coating* PANI terhadap ukuran kristal sulfur, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan *Debye Scherer* sesuai dengan persamaan 3.1.

D merupakan ukuran *crystallite size* dalam satuan nanometer(nm), λ lamda merupakan panjang gelombang alat XRD yang digunakan sebesar 1,54056 Å, B merupakan lebar setengah puncak (FWHM) dalam radian, θ merupakan sudut terbentuknya puncak pada hasil uji XRD. Perhitungan kristalin menggunakan puncak tertinggi, dapat dilihat hasil perhitungan kristalin pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Ukuran *crystallite* sulfur dengan variasi *coating* 0%, 10%, 20% dan 30%

Variasi <i>Coating</i> (%)	θ(°)	FWHM(°)	0.9λ	B (rad)	Cos θ	D (nm)
0	11,5631	0,1004	1,3865	0,00175	0,53755	147,2
10	11,6118	0,1171	1,3865	0,00204	0,57796	117,4
20	11,5091	0,1338	1,3865	0,00234	0,49125	120,9
30	11,5640	0,1171	1,3865	0,00204	0,53826	126,0

Ukuran kristal yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar FWHM berbanding terbalik dengan ukuran kristal sehingga semakin kecil ukuran kristal yang dimiliki oleh spesimen. Dapat diketahui dari perhitungan hasil kristal Tabel 4.1 S/MnO₂ tanpa *coating* memiliki ukuran kristal yang paling besar yaitu 147,2 nm, kemudian ditambahkan PANI 10% mengalami penurunan ukuran kristal sebesar 117,4 nm. Penambahan PANI 20% menaikkan ukuran kristal menjadi 120,9 nm dan PANI 30% ukuran kristal bertambah menjadi 126 nm. Hal ini menunjukkan penambahan *coating* menurunkan ukuran kristal sulfur. Pengaruh ukuran kristal semakin kecil semakin mudah menghantarkan elektron (Minnici et al., 2017).

Struktur kristal dari spesimen S/MnO₂/PANI dapat diketahui dengan menghitung parameter kisi nilai dari a,b, dan c. Berdasarkan refrensi sulfur mempunyai struktur kristal *orthorombik*, parameter kisi struktur kristal *orthorombik* dapat dihitung dengan persamaan 3.2. Hasil dari perhitungan parameter kisi pada penelitian ini dapat dilihat Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Pengaruh *Coating* PANI terhadap parameter kisi

Parameter Kisi	Refrensi Sulfur	Variasi <i>Coating</i>			
	96-231-0805	0%	10%	20%	30%
a	10,4650	10,4361	10,3878	10,3967	10,43751
b	12,8660	12,8527	12,7989	12,8472	12,8558
c	24,4860	24,4761	24,4747	24,4263	24,4472
c/a	2,3397	2,3453	2,3561	2,3494	2,3422

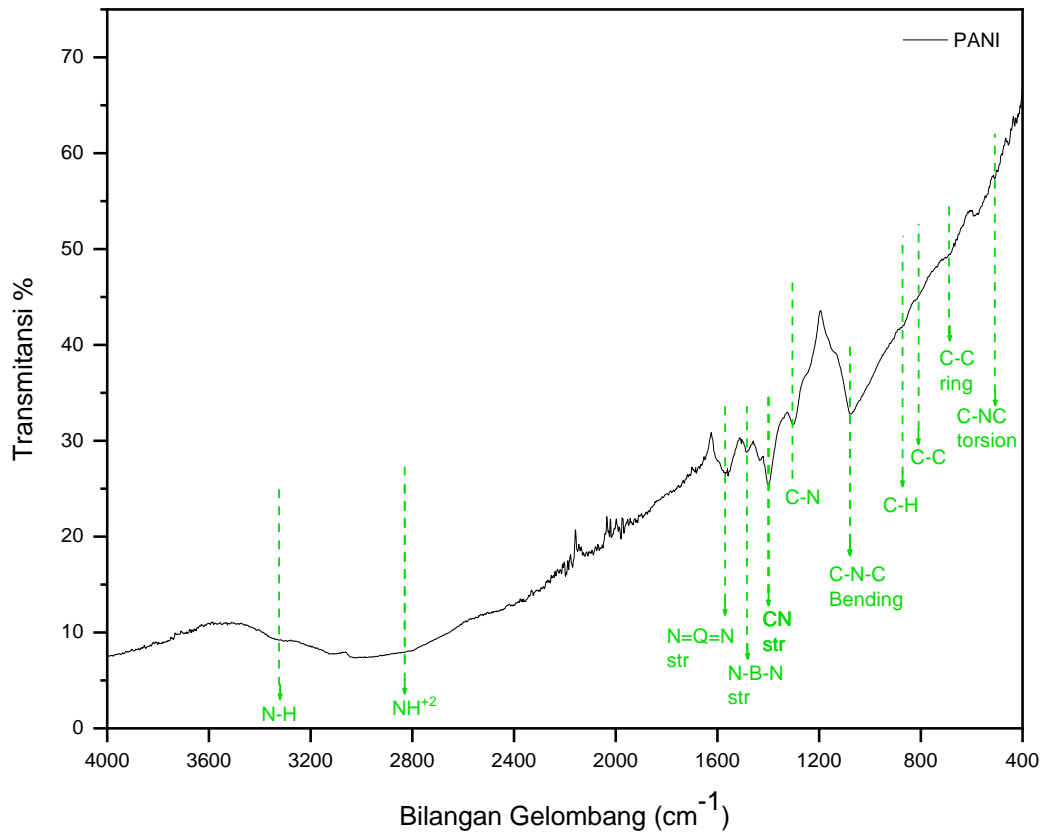
Berdasarkan dari perhitungan parameter kisi pada Tabel 4.2 tidak banyak perbedaan nilai a,b, dan c antara refrensi kode 96-231-0805 dengan hasil penelitian yang dilakukan, hal ini menunjukkan struktur kristal hasil *coating* sulfur tetap menjadi orthohombik. Pada hasil

perhitungan nilai a, b, dan c yang paling besar didapatkan pada S/MnO₂/PANI 30% dan nilai yang paling kecil S/MnO₂/PANI 10%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *coating* PANI tidak membuat perbedaan pada parameter kisi dapat dilihat pada c/a yang perbedaannya tidak terlalu besar.

4.3.2 Analisis Uji FTIR S/MnO₂/PANI

Analisis pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk dari material S/MnO₂/PANI. Spektrum FTIR diperoleh dari permukaan spesimen material S/MnO₂ yang di *coating* dengan PANI dengan metode polimerisasi dengan variasi berat anilin 10%, 20% dan 30%. Analisis dilakukan untuk mengetahui PANI terbentuk pada lapisan permukaan S/MnO₂ dengan membandingkan hasil spektrum FTIR. Refrensi jenis PANI menggunakan jurnal Dhiviya tahun 2019 yang menjelaskan beberapa jenis polianilin.

Polianilin yang di polimerisasi dianalisis terlebih dahulu dengan FTIR untuk mengetahui jenis polianilin yang terbentuk. Polianilin dipolimerisasi dengan doping HCl 2M dengan *cold bath* dengan temperature 0-20°C. Hasil uji FTIR PANI pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hasil spektrum ini kemudian dicocokkan dengan refrensi jurnal Dhiviya. Setelah dianalisis kemudian PANI digunakan untuk *coating* S/MnO₂ dengan variasi 0%, 20% dan 30% untuk menambah performa dari katoda baterai *lithium-sulfur*.



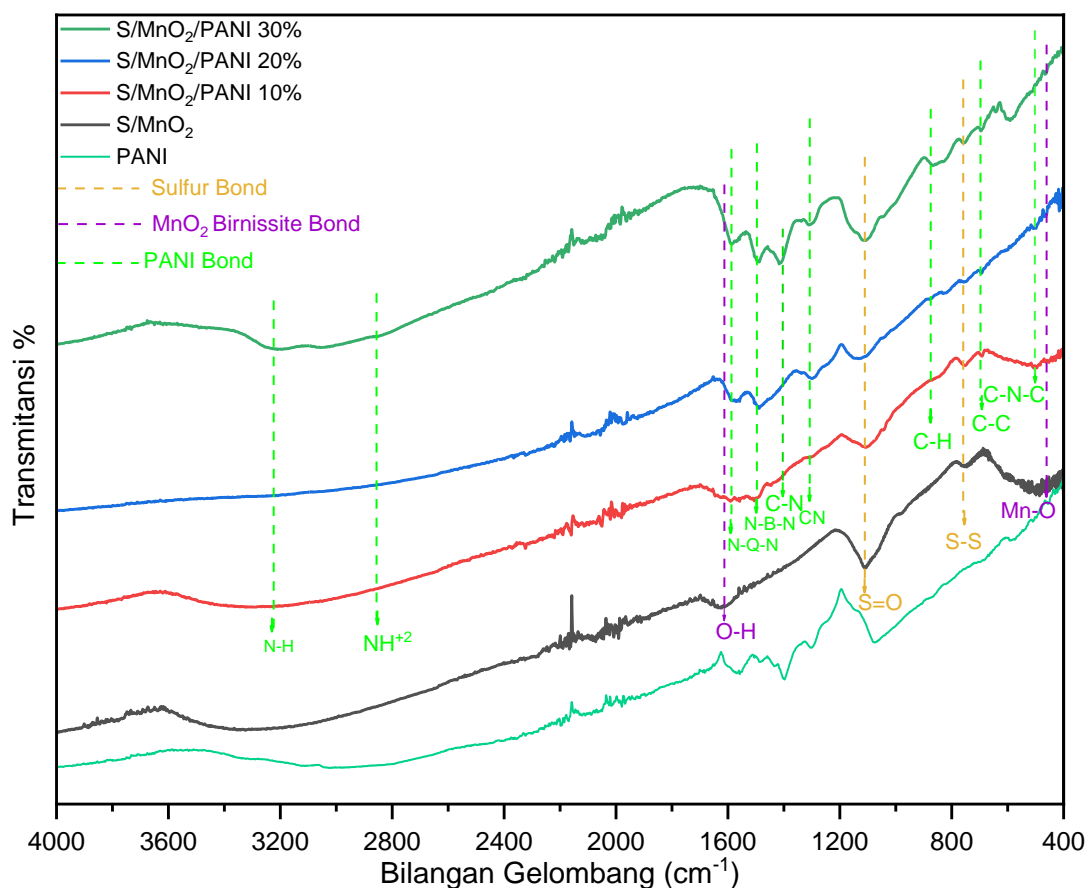
Gambar 4. 5 Spektrum polianilin

Hasil analisis dari Gambar polianilin yang di polimerisasi disesuaikan dengan jurnal dhiviya pada peak wavenumber 504 terdapat ikatan C-N-C, 700 C-C ring, 830 C-H bending, 1073 C-N-C bending, 1398 CN, 1500 N=B=N, 1558 N=Q=N, 2300 C=N⁺, 2830 NH⁺² serta 3430 N-H. Hal ini membuktikan metode polimerisasi dengan doping HCl pada suhu 0-20°C berhasil untuk membuat PANI *Emeraldine Base* (EB) sesuai dengan peak jurnal (Dhiviya et al., 2019) sehingga mengindikasikan garam yang terbentuk merupakan emeraldine. Data polianilin yang telah dianalisis dapat dilihat peaknya pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data spektrokopi FTIR dari PANI yang di *doping* HCl

Wavenumber (cm ⁻¹)	Gugus
504	C-N-C torsion
700, 780	C-C ring
830	C-H bending
1073	C-N-C bending
1280, 1398	CN
1500	N=B=N
2300	C=N ⁺
2830	NH ⁺²
3430	N-H

Hasil PANI *emeraldine* setelah didapat digunakan metodenya untuk melapisi S/MnO₂ dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30%. Hasil uji FTIR S/MnO₂/PANI dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada Gambar S/MnO₂ hanya terdapat gugus ikatan dari sulfur pada wavenumber 750 S-S, 1100 S=O dan gugus MnO₂ pada peak 460 Mn-O, 1640 O-H. Hasil variasi *coating* 10%, 20% dan 30% mempengaruhi hasil FTIR peak polianilin bertambah ke S/MnO₂ menjadi S/MnO₂/PANI, semakin banyak ditambahkan *coating* PANI semakin terlihat spektrum gugus fungsi pada uji FTIR. Hal ini membuktikan metode *coating* dengan polimerisasi berhasil melapisi S/MnO₂ dengan garam PANI EB.



Gambar 4. 6 Spektrum FTIR S/MnO₂/PANI

Hasil analisis PANI membuat pelebaran gugus pada wavenumber 504, 700, 780, 830, 1073, 1398, 1500, 2300, 2830, dan 3430 pada variasi S/MnO₂ dengan variasi *coating* 10%, 20% dan 30%, sedangkan pada variasi yang tidak tercoating PANI tidak terlihat pelebaran gugus fungsi hanya terlihat gugus fungsi S-S, S=O, Mn-O dan O-H. Hal ini membuktikan *coating* PANI pada permukaan dapat terdeteksi dan S/MnO₂ tanpa *coating* dapat dibedakan dengan melihat spektrum hasil pengujian FTIR. Hasil perbandingan karakterisasi FTIR pada spesimen penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Data perbandingan spektrokopi FTIR S/MnO₂/PANI

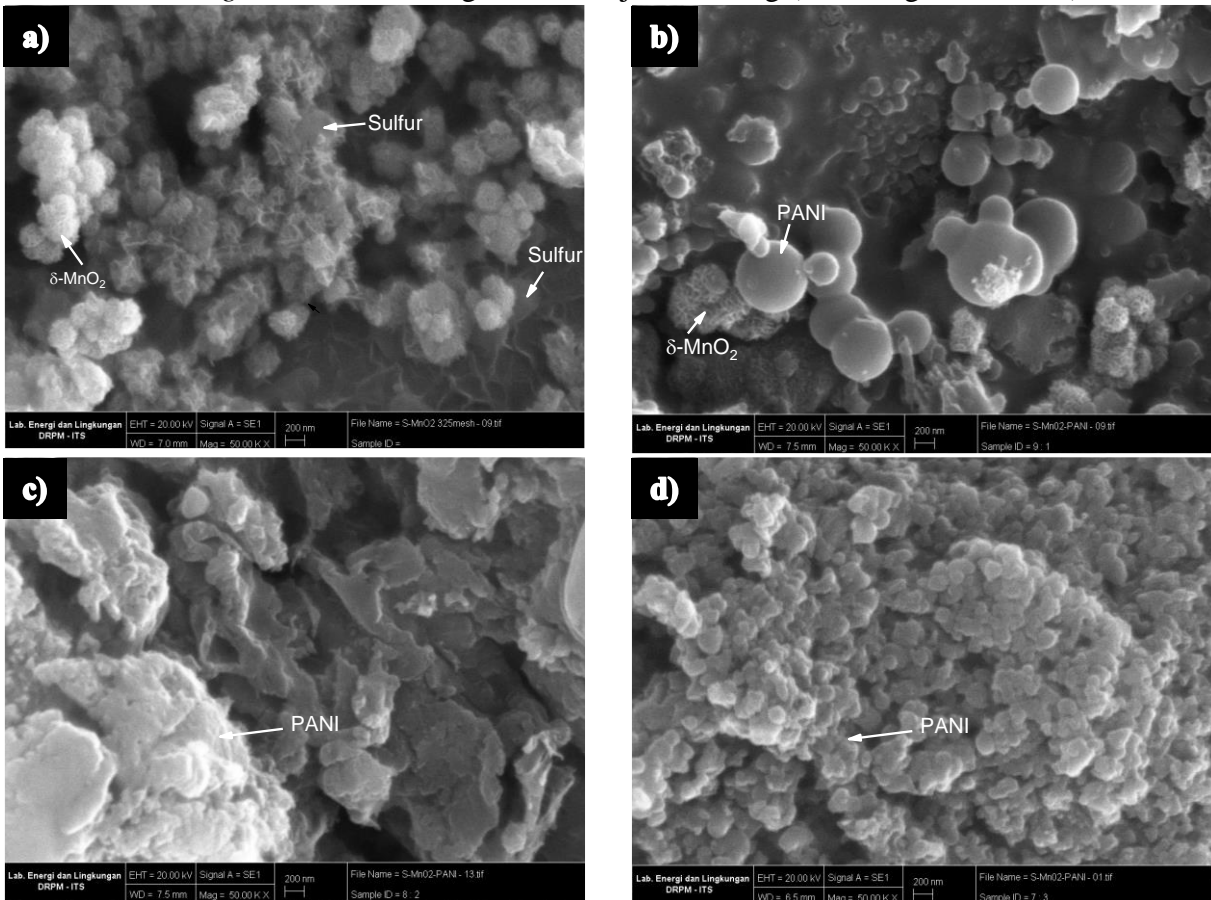
		Wavenumber (cm ⁻¹)			Gugus
PANI	S/MnO ₂	S/MnO ₂ /PANI 10%	S/MnO ₂ /PANI 20%	S/MnO ₂ /PANI 30%	
-	460	460	460	460	Mn-O
504	-	504	504	504	C-N-C torsion
700	-	700	700	700	C-C ring
-	750	750	750	750	S-S
-	1100	1100	1100	1100	S=O
1073	-	1160	1160	1160	C-N-C
1280, 1398	-	1280, 1398	1280, 1398	1280, 1398	CN
1500	-	1500	1500	1500	N=B=N
2300	-	2300	2300	2300	C=N ⁺
2830	-	2830	2830	2830	NH ⁺²
3430	-	3430	3430	3430	N-H

4.3.3 Analisis Uji SEM-EDX S/MnO₂/PANI

Karakterisasi bentuk morfologi permukaan menggunakan SEM EDX, SEM digunakan untuk mengetahui pada permukaan dan EDX digunakan untuk mengetahui kandungan serta persebaran unsur pada spesimen material S/MnO₂/PANI. Pengujian SEM EDX menggunakan alat Lab. Energi dan Lingkungan DRPM-ITS, dengan daya EHT=20kV, WD=6.5 mm – 7.5mm, dan perbesaran 5.000, 15.000, 30.000 dan 50.000 kali. Perbesaran dilakukan untuk mengetahui morfologi sulfur, MnO₂ dan PANI pada spesimen dengan variasi *coating* 0%, 10%, 20% dan 30% pada penelitian ini.

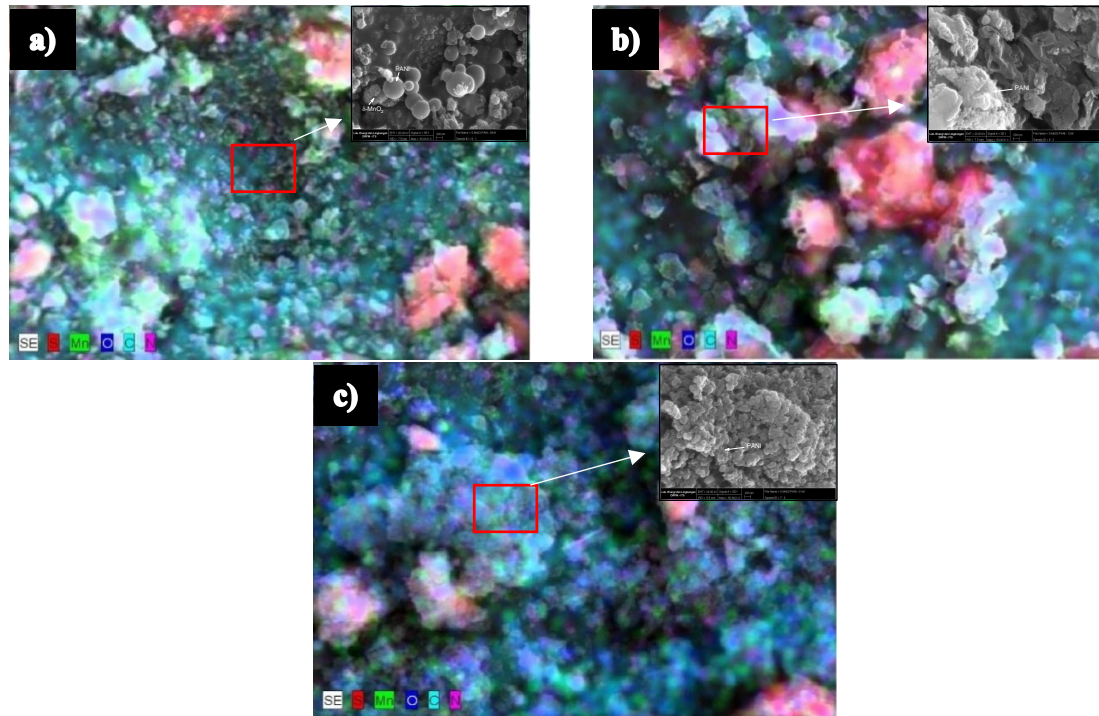
Hasil SEM pada material S/MnO₂/PANI dengan perbesaran 50.000 dengan variasi *coating* 0%, 10%, 20% dan 30% pada Gambar 4.7. Karakterisasi S/MnO₂ dapat dilihat pada Gambar 4.7 (a) Gambar terlihat berserat besar sesuai dengan jurnal liang merupakan hasil reaksi sulfur dan MnO₂ (Liang & Nazar, 2016), sedangkan bulat polos tidak berserat merupakan sulfur murni sesuai dengan jurnal mantirham dan bentuk bulat seperti bunga merupakan δ-MnO₂ nanoflower sesuai dengan jurnal sun (Su et al., 2012; Sun et al., 2014). Hal ini membuktikan metode sintesis yang dilakukan dapat membuat S/δ-MnO₂.

Pada Gambar 4.7 (b,c dan d) merupakan S/MnO₂ yang di *coating* PANI untuk b ditambahkan PANI 10%, c penambahan PANI 20% dan d penambahan PANI 30%. Dapat dilihat pada Gambar b PANI 10% mempengaruhi bentuk morfologi dari S/MnO₂ yang semula δ-MnO₂ banyak terdapat di permukaan dan sulfur terlihat dipermukaan menjadi tertutup oleh PANI, δ-MnO₂ terlihat sedikit karena tertutup PANI dan sulfur sudah tidak kelihatan pada morfologi. Gambar 4.7 c dan d menjelaskan penambahan PANI 20% serta 30% dapat melapisi seluruh permukaan spesimen S/MnO₂, Gambar c dan d tidak terlihat lagi δ-MnO₂ pada perbesaran 50.000. Gambar c permukaan S/MnO₂/PANI 20% terlihat butiran lebih besar dan kasar sedangkan pada 30% terlihat ukuran partikel PANI kecil dan seragam. Hal ini menunjukkan metode polimerisasi PANI untuk *coating* S/MnO₂ berhasil dilakukan, karena bentuk dari *coating* PANI sesuai dengan refrensi jurnal zhang (Y. Zhang et al., 2020).



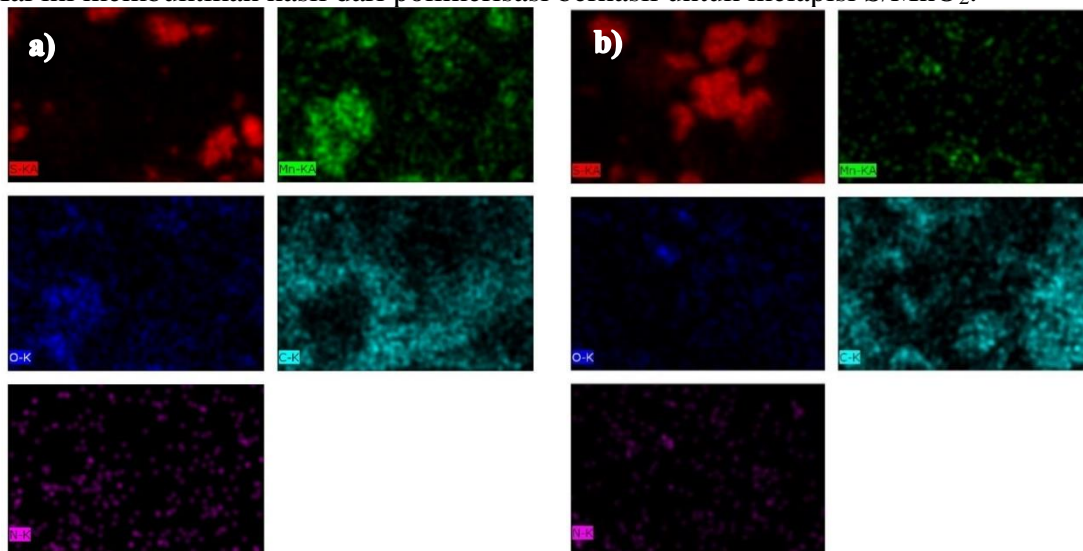
Gambar 4. 7 Hasil SEM perbesaran 50.000 kali (a) S/MnO₂, (b) S/MnO₂/PANI 10%, (c) S/MnO₂/PANI 20% dan (d) S/MnO₂/PANI 30%

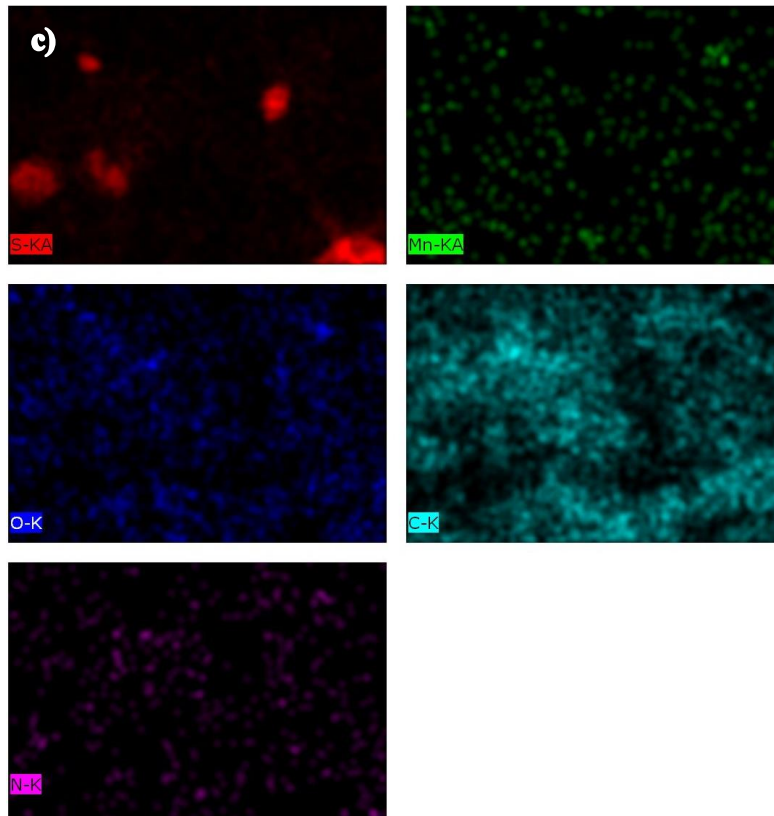
Pada perbesaran 5000 Pada Gambar (a), (b) dan (c) perlu dilakukan *Elemental mapping* untuk mengetahui persebaran setiap unsur S, Mn, O, C, dan N. Pada Gambar 4.8 penambahan PANI 10%, (a) PANI 20% (b) dan PANI 30% (c) terlihat persebaran unsur yang merata melapisi permukaan. Sulfur berwarna merah terlihat ukuran butirnya besar sebagai substrat tempat menempelnya *coating*, unsur Mn warna hijau dan O warna biru melambangkan persebaran δ-MnO₂. Unsur C dilambangkan warna toska terlihat paling banyak dan merata di setiap permukaan. Unsur N warna ungu sedikit dan tersebar di setiap permukaan. Unsur C dan N merupakan PANI yang menjadi lapisan *coating*. Hal ini membuktikan metode polimerisasi untuk *coating* S/MnO₂ dengan PANI berhasil dilakukan.



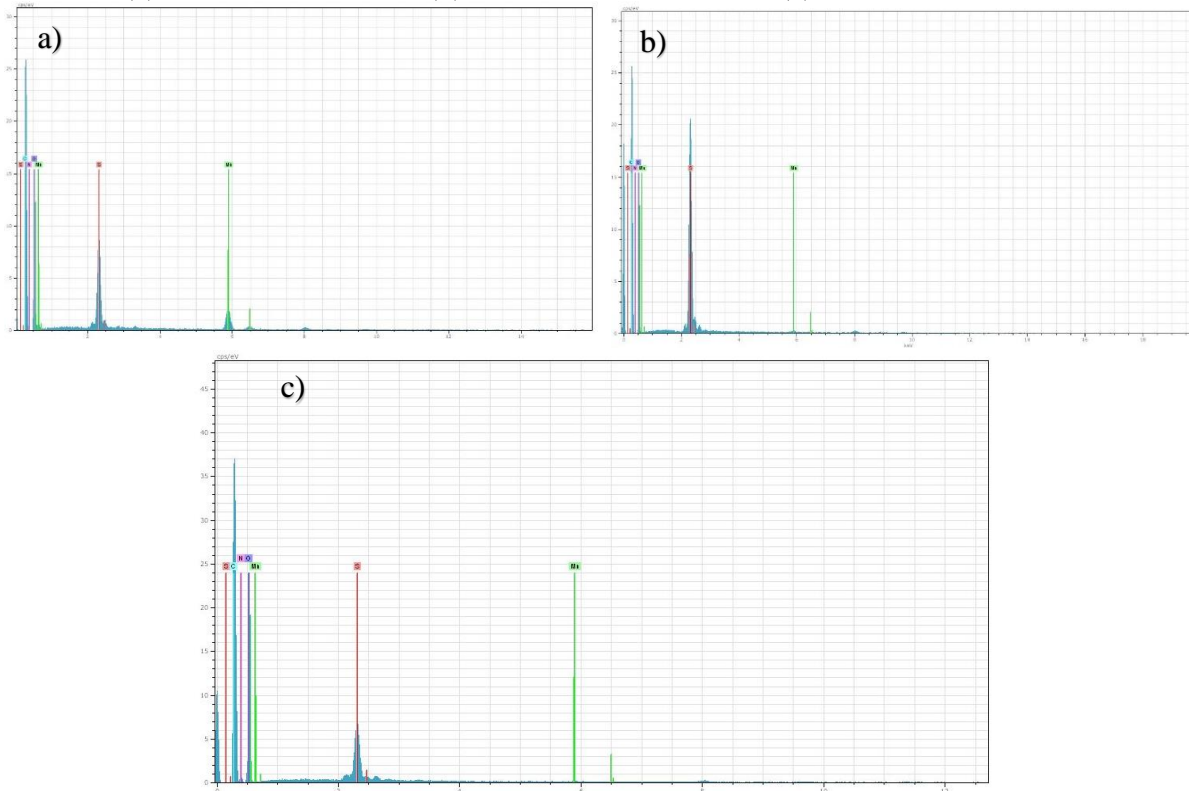
Gambar 4. 8 *Elemental Mapping* perbesaran 5000 kali (a) S/MnO₂/PANI 10%, (b) S/MnO₂/PANI 20% dan (c) S/MnO₂/PANI 30%

Elemental mapping juga dilakukan per unsur S, Mn, O, C dan N untuk melihat lebih jelas persebaran *coating* PANI pada spesimen S/MnO₂/PANI 10%, 20% dan 30% lihat Gambar 4.9. Pada Gambar (a) sulfur terlihat pada bagian pojok kanan bawah kiri dan atas menandakan bagian sulfur yang tidak tercoating masih terlihat dan yang tengah bagian hitam merupakan bagian yang tertutup PANI dapat dilihat pada persebaran C dan N, sedangkan bagian pojok kiri bawah menandakan *coating* Mn dan O atau δ -MnO₂. Pada Gambar (b) terlihat warna merah ditengah merupakan unsur sulfur yang terlihat banyak di permukaan, sedangkan Mn dan O terlihat sedikit di permukaan serta unsur C dan N yang banyak melambangk *coating* PANI dengan penambahan 20% berhasil melapisi S/MnO₂. Pada Gambar (c) dengan *coating* PANI 30% sulfur terlihat sedikit sedangkan Mn dan O terlihat persebaran merata di permukaan, sedangkan untuk unsur PANI C dan N terlihat banyak dan menutupi seluruh permukaan. Perbandingan hasil EDX unsur S/MnO/PANI dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.5. Hal ini membuktikan hasil dari polimerisasi berhasil untuk melapisi S/MnO₂.





Gambar 4. 9 *Elemental Mapping* unsur S, Mn, O, C, dan N perbesaran 5000 kali spesimen (a) S/MnO/PANI 10%, (b) S/MnO/PANI 20% dan (c) S/MnO/PANI 30%



Gambar 4. 10 Spektrum EDX (a) S/MnO₂/PANI 10%, (b) 20% dan (c) 30%

Tabel 4. 5 Hasil EDX % berat dan % atom pada permukaan S/MnO₂/PANI 10%, 20%, 30%

Spesimen	% berat					% atom				
	S	Mn	O	C	N	S	Mn	O	C	N
S/MnO/PANI 10 %	10.87	10.31	32.36	46.45	0.01	5.28	2.93	31.51	60.27	0.01
S/MnO/PANI 20 %	23	1.16	20.26	51.43	4.17	10.89	0.32	19.23	65.04	4.52
S/MnO/PANI 30 %	7.19	0.5	30.89	49.52	11.91	3.14	0.13	30.89	57.77	11.91

Hasil pengujian *energy dispersive x-ray* menghasilkan spektrum sesuai dengan Gambar 4.10 dan Tabel 4.5 untuk mengetahui persebaran unsur dan presentasinya di permukaan. Tabel 4.5 menunjukkan hasil dari *coating* PANI dapat diketahui semua unsur memiliki berat yang menandakan semua unsur terdeteksi pada spesimen S/MnO₂/PANI. Dapat diketahui juga setiap penambahan PANI mengurangi % berat dan % atom Mn yang dipermukaan. Persen berat mulai dari penambahan 10% PANI Mn 10,31%, PANI 20% Mn 1,16% dan PANI 30% Mn 0,5%, sedangkan untuk berat atom Mn berkurang mulai dari 2,93%, 0,32% dan 0,13%. Pada unsur N semakin ditambahkan PANI semakin bertambah % berat dan % atom N pada permukaan mulai dari penambahan 10% PANI N 0,01%, 20% PANI N 4,52% dan 30% PANI N 11,91% Hal ini membuktikan MnO terlapisi PANI sehingga % berat dan % atom Mn berkurang, sedangkan untuk unsur N berkebalikannya semakin ditambahkan PANI semakin bertambah % berat dan % atom N pada permukaan spesimen S/MnO₂/PANI.

4.4 Hasil Pengujian Performa Elektrokimia S/MnO₂/PANI

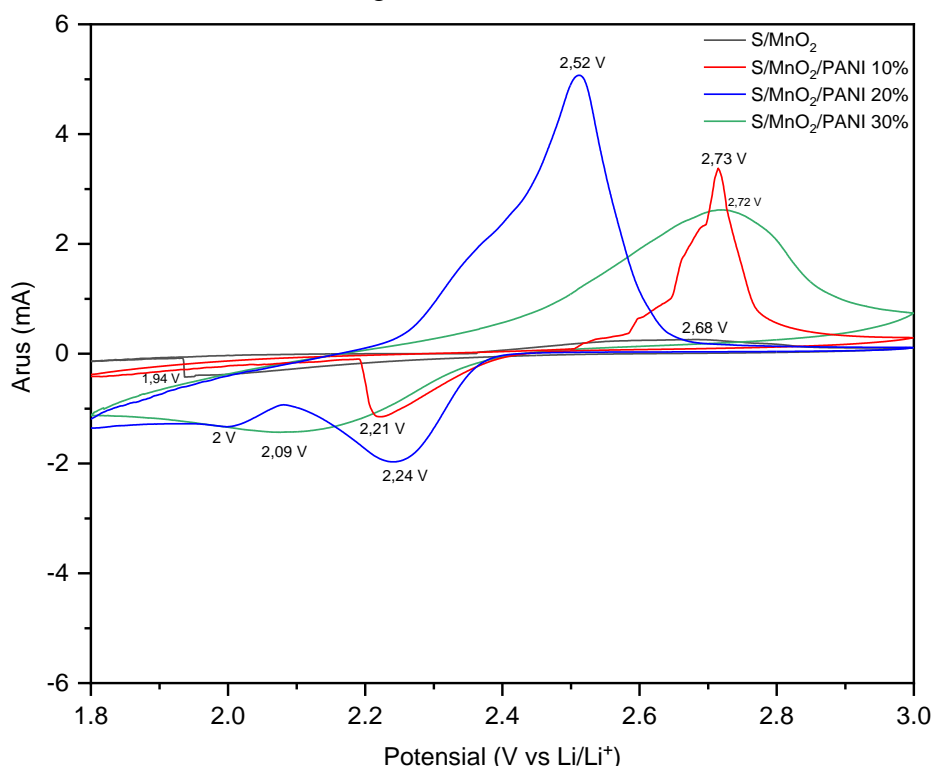
Pengujian performa elektrokimia baterai S/MnO₂/PANI menggunakan pengujian CV untuk mengetahui puncak oksidasi dan reduksi baterai, uji EIS dilakukan untuk mengetahui resistansi, dan uji GCD dilakukan untuk mengetahui kapasitas dari baterai S/MnO₂/PANI.

4.4.1 Analisis Uji CV S/MnO₂/PANI

Pengujian *cyclic voltammetry* (CV) menggunakan alat uji *Corrtest* dengan alat pengolah data *CST Studio* untuk mengetahui reaksi puncak oksidasi dan reduksi pada sel baterai yang diperlihatkan pada kurva voltammogram. Bentuk puncak reduksi dan oksidasi dalam grafik CV menjelaskan kinetik elektrokimia dari Li⁺. Puncak tajam, lurus dan lebar menandakan proses cepatnya reaksi Li⁺, sedangkan puncak lebar menandakan proses lambat dalam reaksi Li⁺ (Yoo et al., 2014). Bentuk grafik uji CV voltammogram didapat dari hubungan arus (A) dan voltase (V). Respon arus dihasilkan dari *scan rate* 0,1 mV/s dengan nilai tegan 1,8 – 3V untuk mengetahui performa elektrokimia dari katoda S/MnO₂/PANI, hasil uji dapat dilihat pada Gambar 4.11. Peak oksidasi pada 2,5 - 2,8V sesuai dengan persamaan 2.2, sedangkan peak oksidasi pada 2,2-2,5V pada persamaan 2.3. Pada proses reduksi baterai *lithium sulfur* terdapat 2 proses reduksi pada 2,2 - 2,4 V sesuai dengan persamaan 2.4 dan 1,9 - 2,1V sesuai dengan persamaan 2.5.

Pada Gambar 4.11 terlihat perbandingan uji CV pada *cycle* 3 dengan variasi *coating* PANI 0%, 10%, 20%, dan 30%. Puncak oksidasi dari S/MnO₂ pada voltase 2,68V dengan arus 0,25 mA, sedangkan untuk reduksi pada voltase 1,94 V dengan arus -0,423 mA. Pada variasi *coating* 10% dapat diketahui puncak oksidasi pada voltase 2,73V dengan arus 3,61 mA, sedangkan

untuk reduksi pada 2,21V dengan arus -1.14 mA. Variasi *coating* 20% menunjukkan puncak oksidasi pada 2,52 V dengan arus 5.08 mA, sedangkan untuk reduksi mempunyai 2 puncak sesuai pada voltase 2,24V dan 2,0V dengan arus -1,97 mA serta -1,53 mA.



Gambar 4. 11 Perbandingan CV S/MnO₂, S/MnO₂/PANI 10%, 20% dan 30% pada *cycle* 3

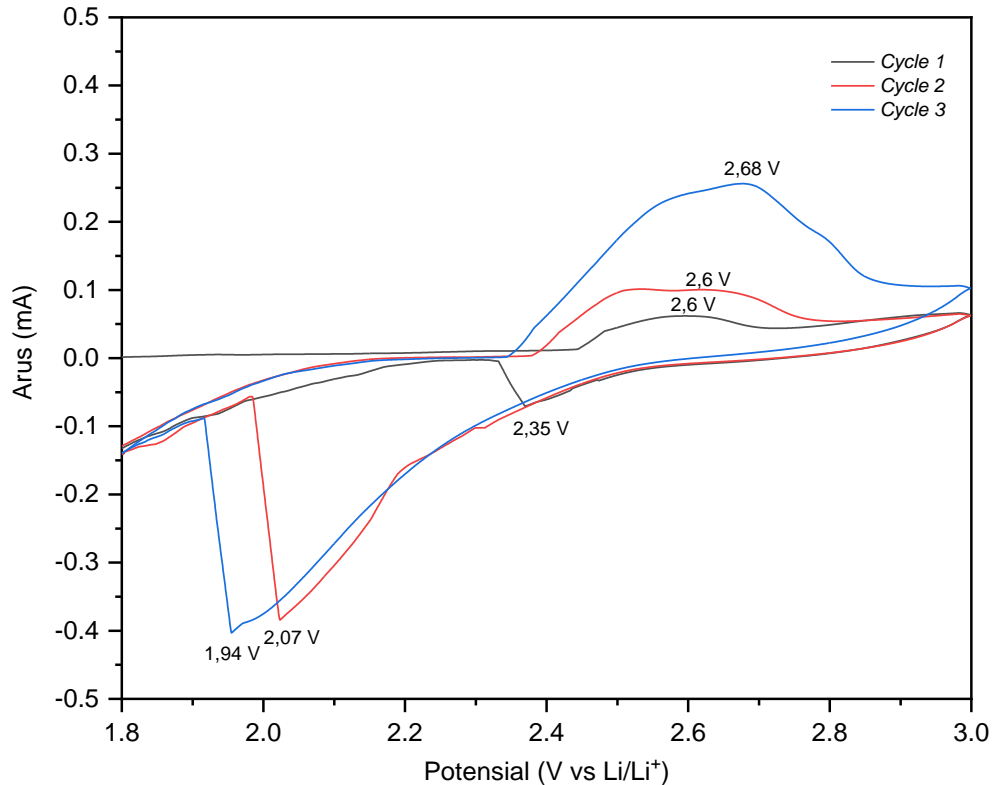
Pada variasi *coating* 30% mempunyai satu puncak oksidasi dan satu puncak reduksi sama dengan yang lain pada voltase 2,72 V dengan arus 2,61 mA, sedangkan reduksi pada voltase 2,09 V dengan arus -1,42 mA. Hal ini menunjukkan S/MnO₂ tanpa *coating* mempunyai arus oksidasi dan reduksi yang paling rendah dengan spesimen *coating* PANI, sedangkan untuk arus yang paling tinggi pada variasi *coating* PANI 20%. Perbandingan jarak oksidasi-reduksi menandakan jika semakin kecil maka transfer elektron lebih mudah, sedangkan jika besar maka transfer elektron terdapat banyak hambatan lihat pada Tabel 4.6. Hal ini membuktikan katoda S/MnO₂/PANI dengan variasi *coating* 0%, 10%, 20% dan 30% mempunyai reaksi redoks, variasi paling baik PANI 10% dengan nilai 2,73 V dengan jarak redoks yang kecil 0.52 V.

Tabel 4. 6 Nilai intensitas puncak voltase dan arus oksidasi reduksi pada spesimen variasi *coating* PANI 0%, 10%, 20% dan 30%

Variasi <i>Coating</i>	Intensitas Puncak pada <i>cycle</i> 3				Jarak Oksidasi-Reduksi (V)
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)	
S/MnO	2,68	0,25	1,94	-0,423	0.74
S/MnO ₂ /PANI 10%	2,73	3,61	2,21	-1,14	0.52
S/MnO ₂ /PANI 20%	2,52	5,08	2,24 dan 2,0	-1,97 dan -1,53	0.52
S/MnO ₂ /PANI 30%	2,72	2,61	2,09	-1,42	0.63

Pada Tabel 4.6 dapat diketahui intensitas puncak oksidasi dan reduksi dari spesimen S/MnO₂ dengan *coating* PANI. Pada hasil uji CV terdapat satu puncak oksidasi dari katoda sesuai dengan reaksi 2.2, sedangkan untuk reduksi ada yang mengalami satu puncak reduksi

dan dua puncak reduksi sesuai dengan persamaan 2.3 dan 2.4. Pada uji cv setiap spesimen diuji sebanyak 3 cycle untuk mengetahui performa elektrokima baterai.



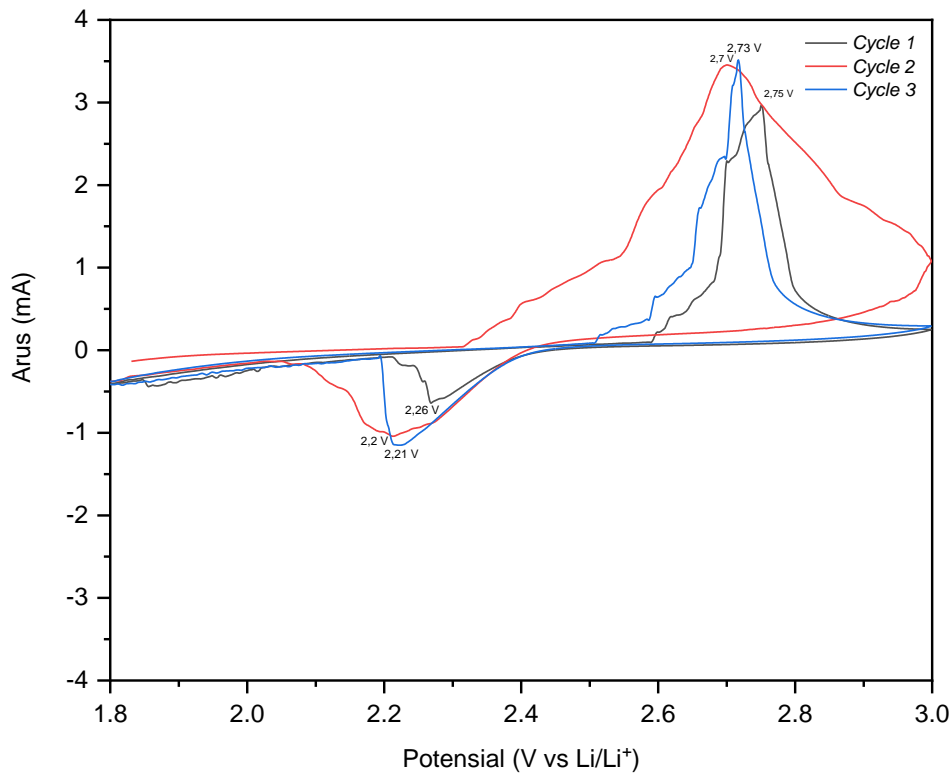
Gambar 4. 12 Perbandingan grafik CV S/MnO₂ cycle 1 sampai 3

Pada spesimen S/MnO₂ tanpa *coating* PANI lihat Gambar 4.12 terdapat peningkatan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1-3. Pada *cycle* pertama intensitas arus oksidasi 0,06 mA kemudian bertambah menjadi 0,09 mA pada *cycle* ke 2, serta pada *cycle* 3 mengalami peningkatan menjadi 0,25 mA. Pada reaksi reduksi terjadi peningkatan pada *cycle* 1,2 dan 3 dengan nilai -0,07 mA, -0,4 mA dan -0,423 mA. Perbandingan intensitas puncak oksidasi dan reduksi *cycle* 1-3 pada katoda S/MnO₂ lihat Tabel 4.7. Hal sesuai dengan jurnal Hao tahun 2018 peningkatan puncak ini disebabkan oleh *electrochemical activeness* dari material katoda S/MnO₂ (Hao et al., 2018).

Tabel 4. 7 Nilai intensitas puncak voltase dan arus pada spesimen S/MnO₂ cycle 1-3

Spesimen S/MnO ₂	Intensitas Puncak			
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)
Cycle 1	2,6	0,06	2,35	-0,07
Cycle 2	2,6	0,09	2,07	-0,4
Cycle 3	2,68	0,25	1,94	-0,423

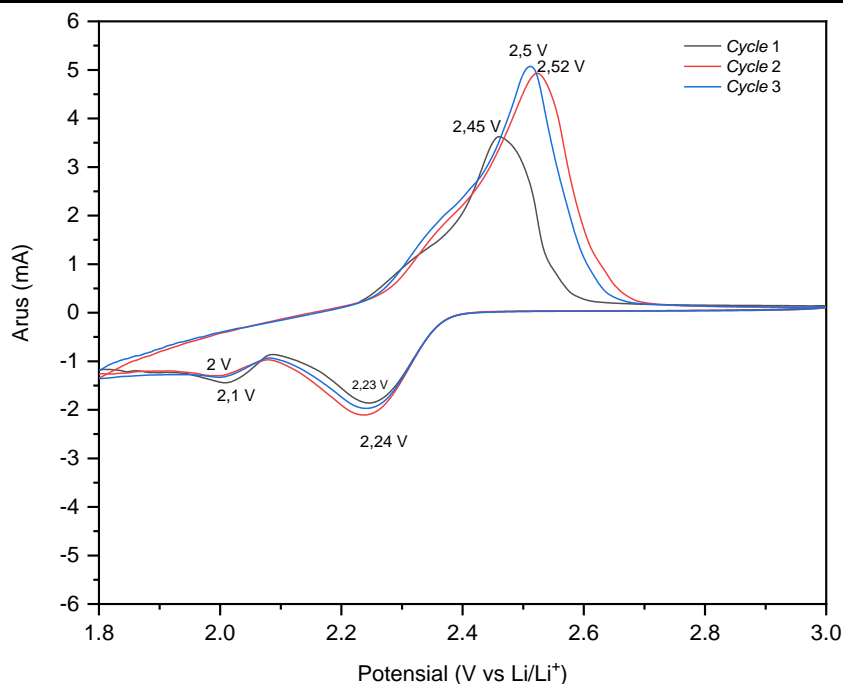
Pada spesimen S/MnO₂ dengan *coating* PANI 10% lihat Gambar 4.13 terdapat peningkatan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1 sampai 3. Pada *cycle* pertama intensitas arus oksidasi 2,99 mA kemudian bertambah menjadi 3,45 mA pada *cycle* ke 2, serta pada *cycle* 3 mengalami peningkatan menjadi 3,61 mA. Pada reaksi reduksi terjadi peningkatan intensitas arus pada *cycle* 1,2 dan 3 dengan nilai -0,63 mA, -1,05 mA dan -1,14 mA. Perbandingan intensitas puncak oksidasi dan reduksi *cycle* 1 sampai 3 pada katoda S/MnO₂/PANI 10% lihat Tabel 4.8. Hal ini dikarenakan sama dengan S/MnO₂ peningkatan puncak ini disebabkan oleh *electrochemical activeness* dari material katoda S/MnO₂/PANI 10%.



Gambar 4. 13 Perbandingan grafik CV S/MnO₂/PANI 10% cycle 1 sampai 3

Tabel 4. 8 Nilai intensitas puncak voltase dan arus pada spesimen S/MnO₂/PANI 10%

Spesimen S/MnO ₂ /PANI 10%	Intensitas Puncak			
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)
<i>Cycle 1</i>	2,75	2,99	2,26	-0,63
<i>Cycle 2</i>	2,7	3,45	2,2	-1,05
<i>Cycle 3</i>	2,73	3,61	2,21	-1,14

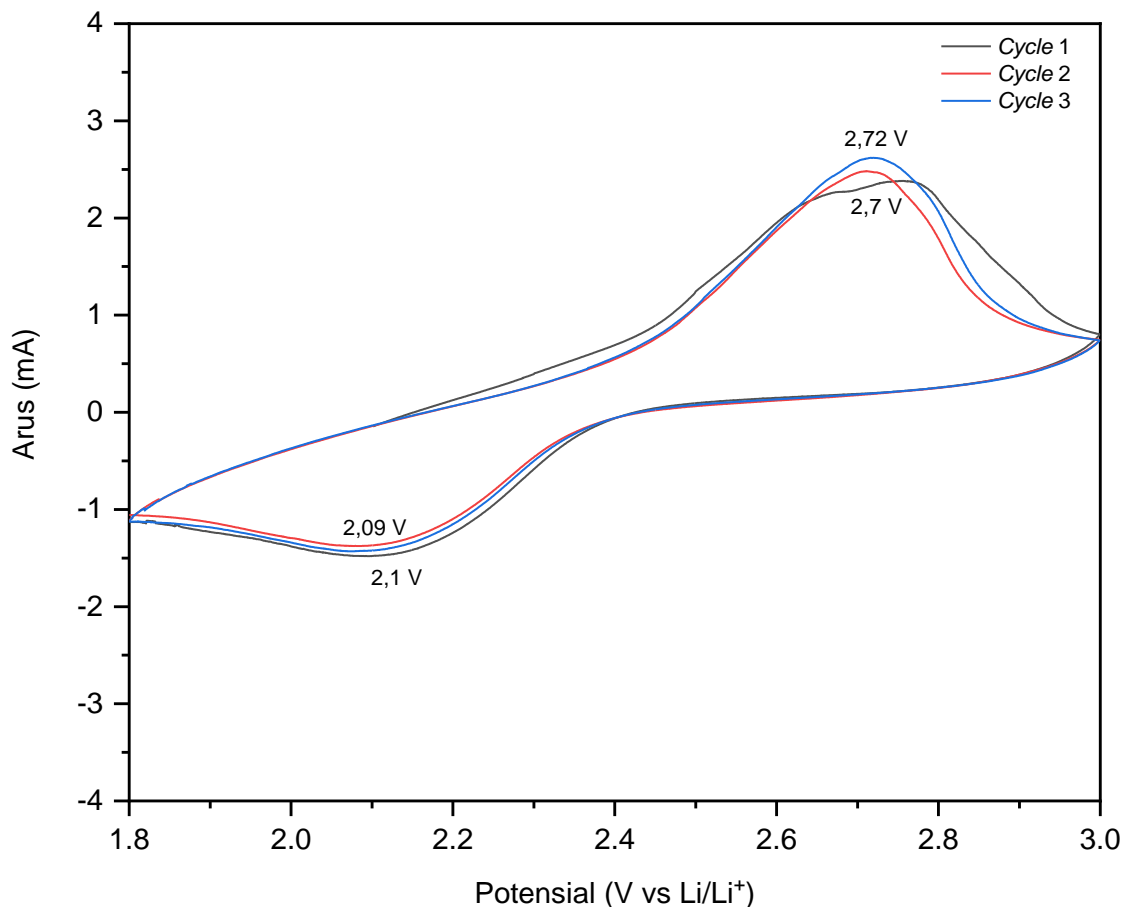


Gambar 4. 14 Perbandingan grafik CV S/MnO₂/PANI 20% cycle 1-3

Pada spesimen S/MnO₂ dengan *coating* PANI 20% lihat Gambar 4.14 terdapat peningkatan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1 sampai 3. Pada *cycle* pertama intensitas arus oksidasi 2,45 mA kemudian bertambah menjadi 2,52 mA pada *cycle* ke 2, serta penurunan pada *cycle* 3 menjadi 2,5 mA. Pada reaksi reduksi terdapat 2 puncak intensitas arus pada *cycle* 1 puncak pertama nilai -1,86 mA, sedangkan untuk puncak reduksi kedua -1,44 mA. Pada *cycle* kedua mengalami peningkatan arus reduksi pada puncak pertama dengan nilai -2,11mA dan puncak kedua -1,3 mA. Pada *cycle* 3 mengalami penurunan puncak dengan nilai -1,97 mA dan puncak kedua dengan nilai -1,33 mA. Perbandingan intensitas puncak oksidasi dan reduksi *cycle* 1 sampai 3 pada katoda S/MnO₂/PANI 20% lihat Tabel 4.9. Hal ini dikarenakan sama dengan S/MnO₂ peningkatan puncak ini disebabkan oleh *electrochemical activeness* dari material katoda S/MnO₂/PANI 20%.

Tabel 4.9 Nilai intensitas puncak arus dan voltase spesimen S/MnO₂/PANI 20%

Spesimen S/MnO ₂ /PANI 20%	Intensitas Puncak			
	Voltase Oksidasi (V)	Arus Oksidasi (mA)	Voltase Reduksi (V)	Arus Reduksi (mA)
<i>Cycle</i> 1	2,45	3,56	2,24 dan 2,1	-1,86 dan -1,44
<i>Cycle</i> 2	2,52	4,93	2,23 dan 2	-2,11 dan -1,3
<i>Cycle</i> 3	2,5	5,08	2,24 dan 2	-1,97 dan -1,33



Gambar 4.15 Perbandingan grafik CV S/MnO₂/PANI 30% *cycle* 1-3

Pada spesimen S/MnO₂ dengan *coating* PANI 30% lihat Gambar 4.15 terdapat peningkatan intensitas puncak oksidasi dan reduksi pada *cycle* 1 sampai 3. Pada *cycle* pertama intensitas

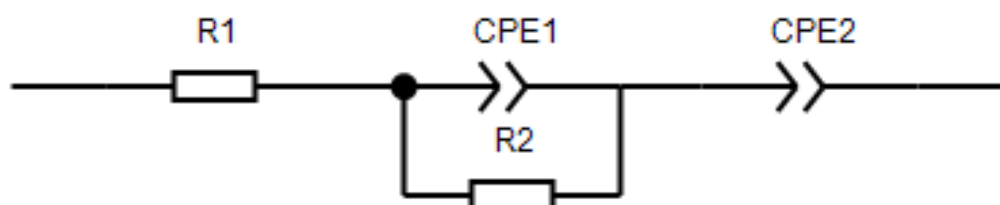
arus oksidasi 2,37 mA kemudian bertambah menjadi 2,47 mA pada cycle ke 2, serta pada cycle 3 mengalami peningkatan menjadi 2,61 mA. Pada reaksi reduksi terjadi peningkatan intensitas arus pada cycle 1,2 dan 3 dengan nilai -1,47 mA, -1,37 mA dan -1,42 mA. Perbandingan intensitas puncak oksidasi dan reduksi cycle 1 sampai 3 pada katoda S/MnO₂/PANI 30% lihat Tabel 4.10. Hal ini dikarenakan sama dengan S/MnO₂ peningkatan puncak ini disebabkan oleh electrochemical activeness dari material katoda S/MnO₂/PANI 30%. Hal ini membuktikan hasil S/MnO₂ tanpa coating mempunyai intensitas arus yang rendah, sedangkan penambahan coating PANI menambahkan intensitas puncak arus oksidasi dan reduksi.

Tabel 4. 10 Nilai intensitas puncak arus dan voltase spesimen S/MnO₂/PANI 30%

Spesimen	Intensitas Puncak			
	Voltase	Arus Oksidasi	Voltase	Arus Reduksi
	Oksidasi (V)	(mA)	Reduksi (V)	(mA)
Cycle 1	2,70	2,37	2,1	-1,47
Cycle 2	2,70	2,47	2,09	-1,37
Cycle 3	2,72	2,61	2,09	-1,42

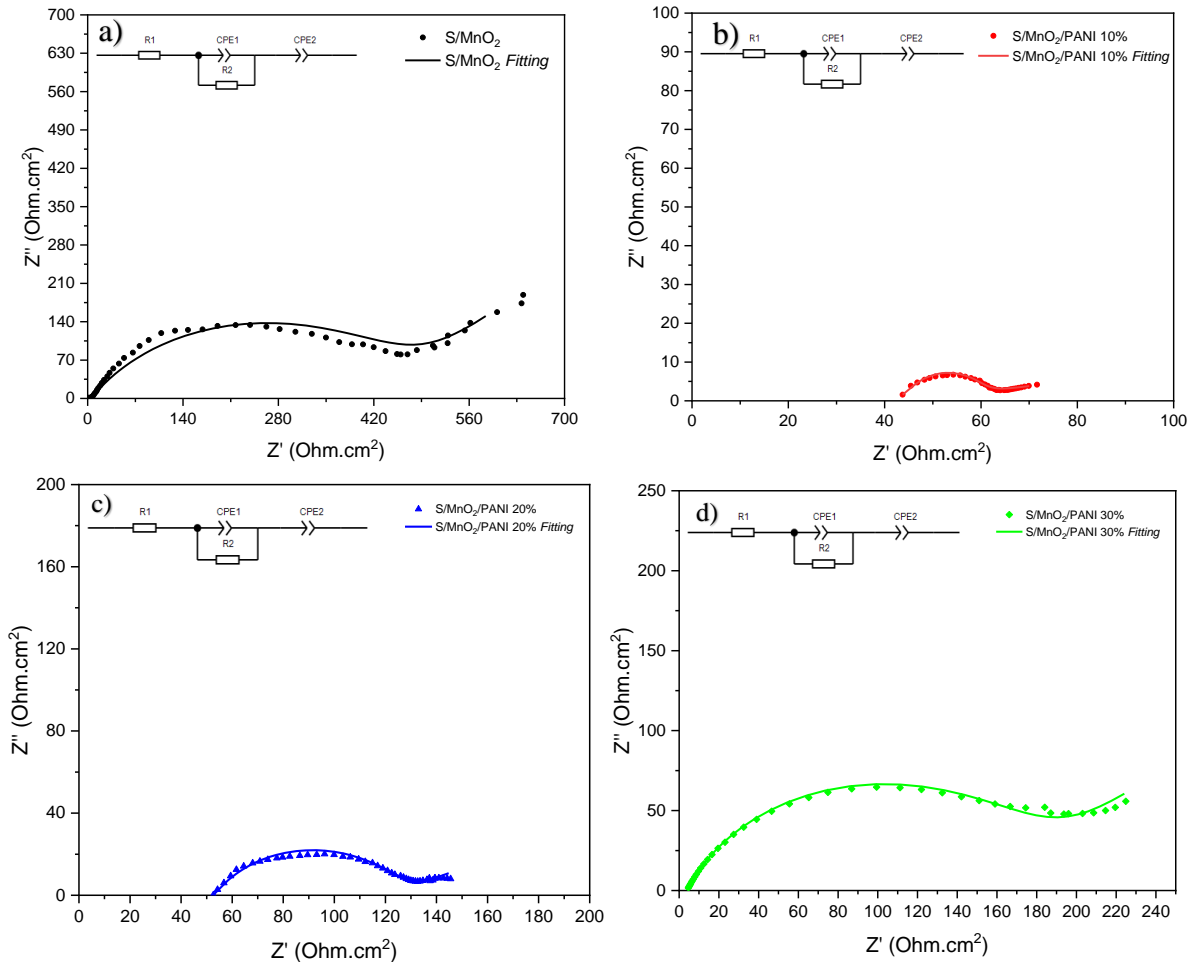
4.4.2 Analisis Uji EIS S/MnO₂/PANI

Pengujian EIS diperlukan untuk mengetahui nilai impedansi dan proses inter skalasi ion lithium yang terjadi antara interface pada katoda baterai S/MnO₂/PANI dan larutan elektrolit LiTFSI. Grafik EIS mempunyai bentuk *semicircle* dan *slopes*. *Nquist plot* menunjukkan hubungan impedansi real (Z') dengan impedansi imajiner (Z'') pada frekuensi 10 Hz – 1.000.000 Hz dengan *polarization AC amplitude* 5 mV. *Semi-circle* pada EIS berhubungan dengan besarnya nilai hambatan elektrolit yaitu *solution resistance* (R_s) dan *charge-transfer resistance* (R_{ct}) sedangkan garis lurus menandakan adanya proses interskalasi dan de interskalasi Li⁺. *Equivalent circuit* yang digunakan untuk *fitting* lihat Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 *Equivalent circuit fitting* baterai

Analisis pengujian EIS berhubungan dengan hasil XRD perhitungan ukuran *crystallite*. Hasil pengujian EIS dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Perbandingan hasil uji EIS S/MnO₂/PANI 0%, 10%, 20% dan 30% dapat dilihat pada Gambar 4.18 dari hasil plotting grafik didapat nilai perbandingan R_{ct} dan R_s yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 .Pada Gambar 4.17 (a) S/MnO₂ dengan hasil EIS dan hasil fitting untuk mengetahui hambatan elektrolit dan hambatan rangkaiannya. Pada spesimen S/MnO₂/PANI 10%, S/MnO₂/PANI 20% dan S/MnO₂/PANI 30% tidak terjadi perubahan circuit, hal ini menandakan penambahan PANI tidak merubah *equivalent circuit* baterai. Nilai R_s merupakan nilai R_1 pada rangkaian circuit, untuk R_{ct} pada rangkaian dilambangkan oleh R_2 dan CPE 2 merupakan difusi ion dari baterai *lithium-sulfur*.

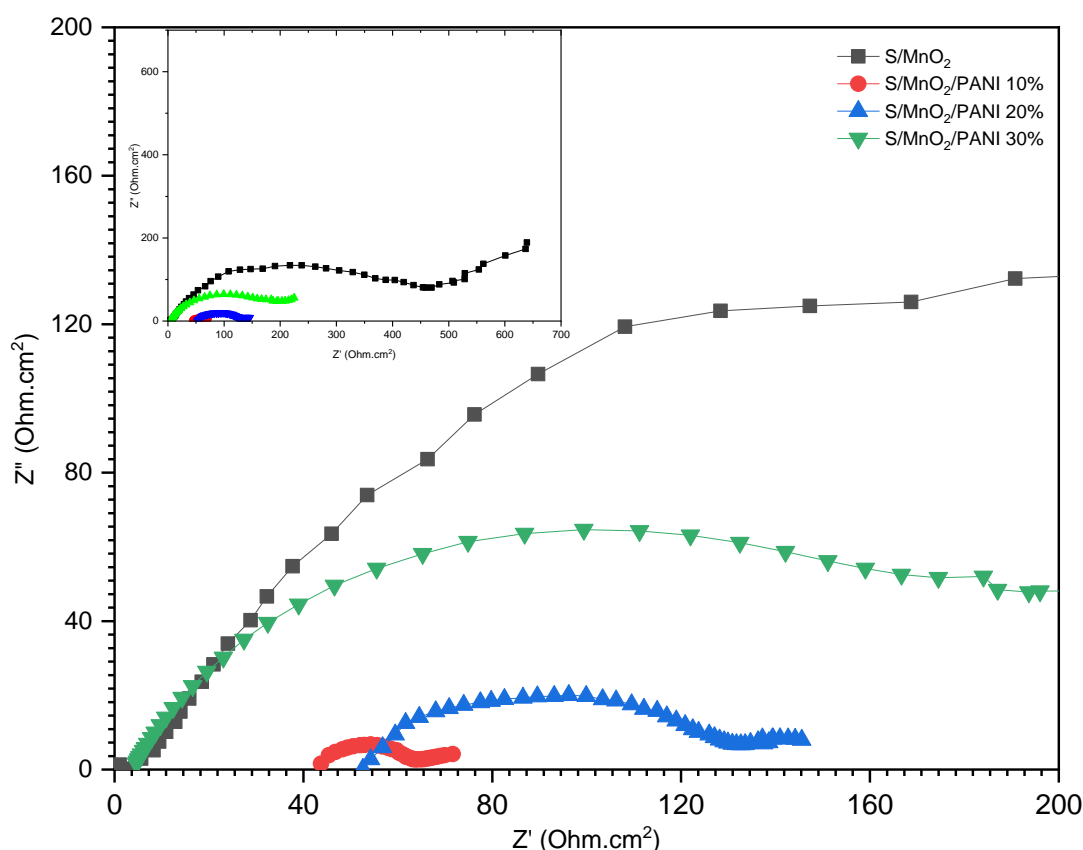


Gambar 4. 17 Hasil uji (a) EIS S/MnO₂, (b) S/MnO₂/PANI 10%, (c) S/MnO₂/PANI 20% dan (d) S/MnO₂/PANI 30%

Pengujian EIS menghasilkan 1 *semicircle* dan 1 garis induksi sedangkan untuk titik awal menandakan Rs pada semua spesimen baterai *lithium-sulfur*. Spesimen (a) merupakan S/MnO₂ tanpa *coating* yang menghasilkan Rs dan Rct dengan nilai 4,5828 ohm serta 450,62, sedangkan untuk garis terpendek dihasilkan oleh spesimen (b) S/MnO₂/PANI 10% menghasilkan Rs dan Rct dengan nilai 35,452 Ohm serta 11,596 Ohm. Pada spesimen (c) S/MnO₂/PANI 20% menghasilkan nilai Rs dan Rct sebesar 52,61 Ohm dan pada spesimen (d) spesimen S/MnO₂/PANI 30% mengalami peningkatan rentang hambatan nilai Rs dan Rct sebesar 3,5836 serta 168,82 Ohm. Hal ini membuktikan penambahan PANI mengurangi resistansi pada saat 10% sedangkan penambahan mencapai 30% menambahkan nilai Rs dan Rct, hal ini sesuai dengan jurnal rahayu 2018 tentang baterai dengan penambahan PANI mempunyai penambahan dengan nilai optimal (Rahayu et al., 2018).

Tabel 4. 11 Nilai Rs dan Rct variasi *coating* PANI 0%, 10%, 20% dan 30%

Variasi <i>Coating</i> PANI	Rs (Ohm)	Rct (Ohm)	Konduktivas (Scm ⁻¹)
0%	4,528	450,52	5,5245x10 ⁻⁵
10%	35,452	11,596	2,1462x10 ⁻³
20%	52,61	71,409	3,4852x10 ⁻⁴
30%	3,5836	168,82	1.4742x10 ⁻⁴



Gambar 4. 18 Perbandingan *nyquist plot* dari uji EIS S/MnO₂, S/MnO₂/PANI 10%, S/MnO₂/PANI 20%, dan S/MnO₂/PANI 30%

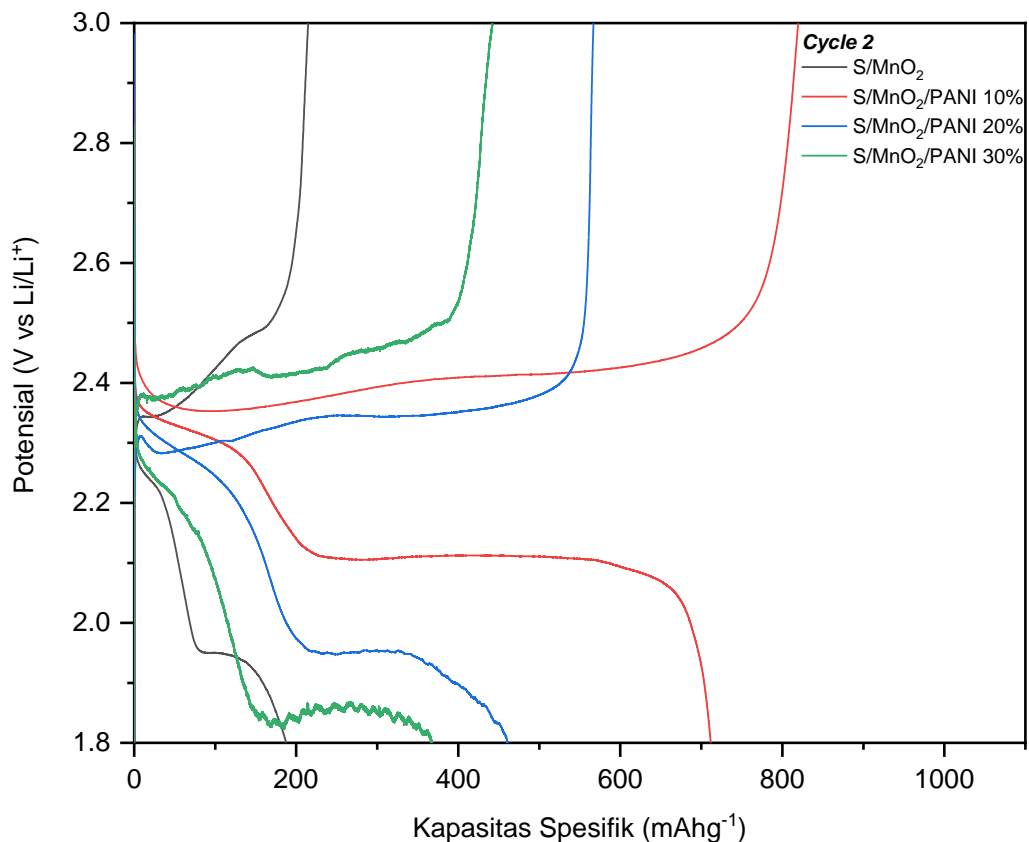
Berdasarkan grafik EIS dengan bentuk *equivalent circuit* yang terdiri atas resistance solution (R_s), charge transfer resistance (R_{ct}), capacitor (C), CPE-T, CPE-P, nilai R_{ct} terendah yang memiliki *crystallite* terkecil yaitu pada sampel S/MnO₂/PANI 10% dengan nilai 11,596 Ohm. Pada spesimen tanpa *coating* memiliki nilai R_{ct} yang paling besar dengan nilai 450,62 Ohm, kemudian diikuti S/MnO₂/PANI 20% dan 30% dengan nilai 71,409 Ohm serta 168,82 Ohm. Ukuran *crystallite* yang dimiliki oleh sampel S/MnO₂/PANI 10% paling kecil dengan nilai 117,4 nm yang berpengaruh pada jarak difusi ion Li⁺ sehingga akan mempermudah proses interskalasi dan de-interskalasi (Minnici et al., 2017). Hal ini membuktikan spesimen di *coating* PANI mengurangi resistansi dengan variasi optimal konduktivitas pada 10% PANI. Reaksi redoks dapat dilihat pada persamaan 2.2, 2.3, 2.4 dan 2.5. Berdasarkan nilai R_{ct} pada masing – masing spesimen dengan variasi *coating* 0%, 10%, 20% dan 30% dapat dihitung nilai konduktivitas dengan persamaan 3.3.

Berdasarkan persamaan 3.3 l merupakan ketebalan, R merupakan R_{ct} baterai dan A luas permukaan katoda baterai. Dari persamaan 3.3 didapatkan nilai konduktivitas baterai variasi *coating* 0% sebesar $5,5245 \times 10^{-5}$, variasi PANI 10% sebesar $2,1462 \times 10^{-3}$, variasi PANI 20% sebesar $3,4852 \times 10^{-4}$ dan variasi 30% PANI sebesar 1.4742×10^{-4} . Konduktivitas terbaik terdapat pada variasi 10% PANI.

Nilai R_{ct} juga bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam mentransfer elektron baterai *lithium-sulfur*. Nilai R_{ct} semakin besar maka proses transfer elektron semakin sulit. Sampel baterai dengan nilai R_{ct} rendah memiliki kemampuan de-interkalasi baik. Nilai R_s merupakan tahanan dari elektrolit setiap spesimen memiliki perbedaan dengan selisih yang kecil. Perbedaan nilai R_s ini disebabkan oleh elektrolit LiTFSi yang diteteskan volumenya berbeda-beda saat proses pemasangan baterai S/MnO₂/PANI, sehingga mempengaruhi konsentrasi elektrolit dalam baterai (Liu et al., 2022).

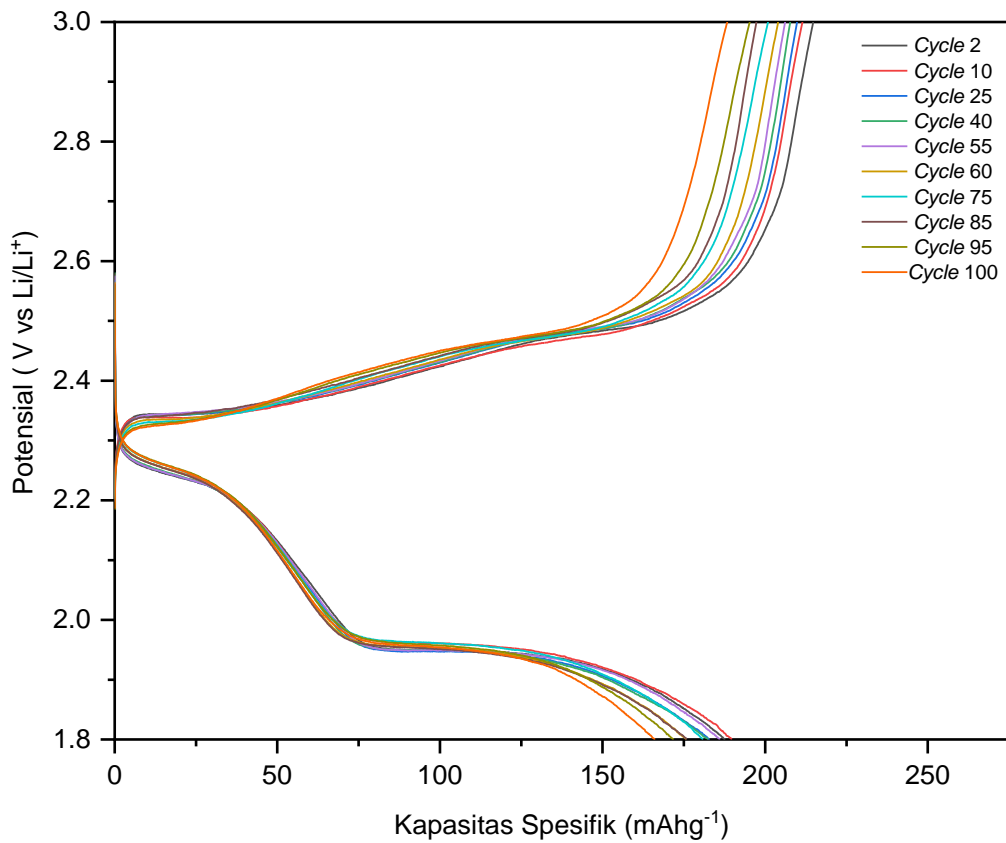
4.4.3 Analisis Uji GCD S/MnO₂/PANI

Pengujian *galvanostatic charge* dan *discharge* dilakukan bertujuan untuk mengetahui kapasitas *charging* dan *discharge* baterai, selain itu pengujian GCD dapat digunakan untuk mengetahui stabilitas katoda saat interkalasi dan de-interkalasi ion Li⁺. Instrumen yang digunakan menggunakan parameter pengujian adalah *C-rate* sebesar 0.2 C. Pengujian dilakukan pada potensial 1,8V – 3V sebanyak 100 *cycle*. Adanya garis miring keatas menandakan adanya proses *charging* baterai, sedangkan garis miring kebawah menandakan proses *discharge* baterai *lithium-sulfur*. Daerah lurus mendatar keatas dinamakan *plating* menandakan adanya proses oksidasi, sedangkan daerah lurus mendatar kebawah menandakan adanya proses reduksi. Secara teori semakin panjang *plating* menandakan kapasitas *charge* dan *discharge* baterai semakin besar.

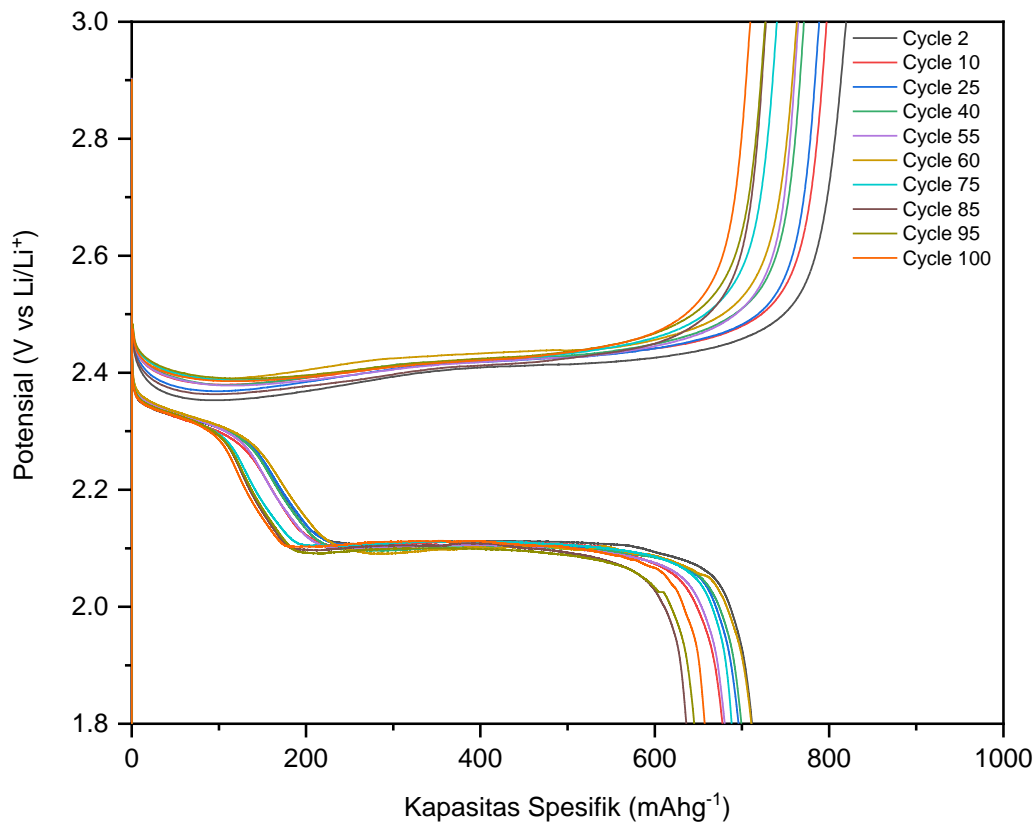


Gambar 4. 19 Perbandingan kapasitas spesifik pada *cycle 2* S/MnO₂, S/MnO₂/PANI 10%, S/MnO₂/PANI 20%, dan S/MnO₂/PANI 30%

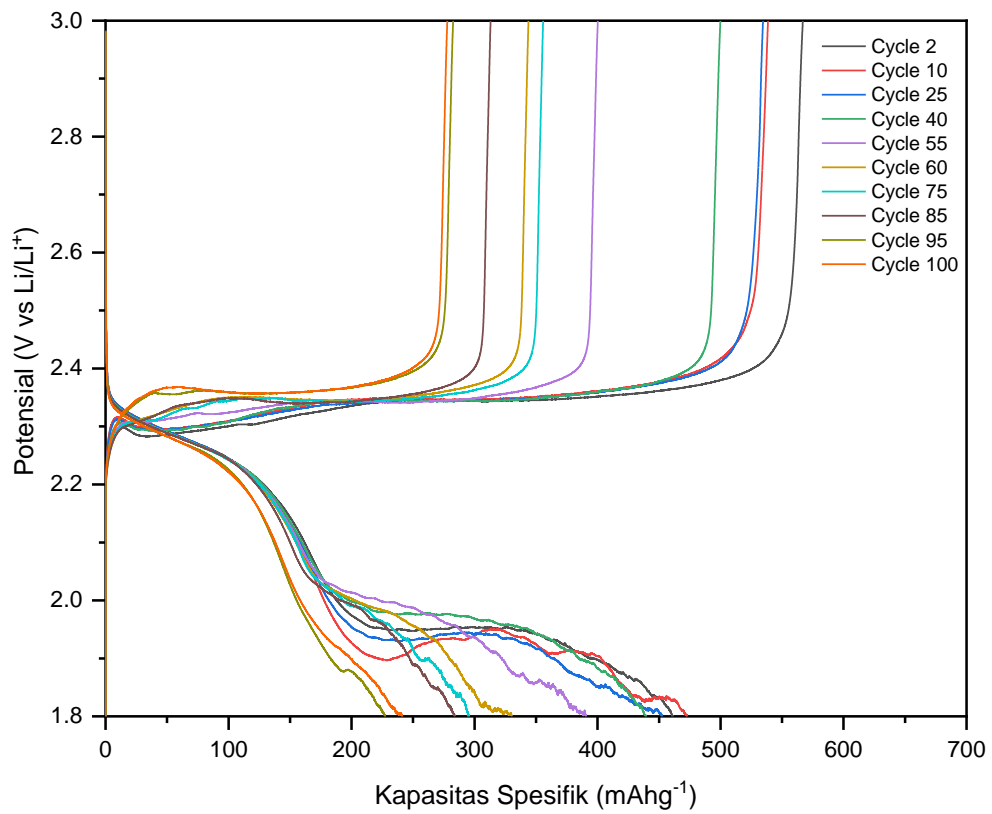
Dapat dianalisis dari Gambar 4.19 merupakan perbandingan kapasitas pada *cycle 2* dari spesimen S/MnO₂, S/MnO₂/PANI 10%, S/MnO₂/PANI 20%, dan S/MnO₂/PANI 30%. Pada spesimen S/MnO₂/PANI 10% mempunyai kapasitas *charge* dan *discharge* paling besar dengan nilai *charge* 819,5674 mAhg⁻¹ dan *discharge* 711,6122 mAhg⁻¹, sedangkan kapasitas terkecil terdapat pada spesimen S/MnO₂ tanpa *coating* dengan kapasitas *charge* 214,7760 mAhg⁻¹ dan *discharge* 187,2426 mAhg⁻¹. Pada spesimen S/MnO₂/PANI 20% mempunyai kapasitas 566,9043 mAhg⁻¹ dan 461,0311 mAhg⁻¹, sedangkan spesimen S/MnO₂/PANI 30% mempunyai kapasitas *charge* 442,0925 mAhg⁻¹ dan *discharge* 366,8436 mAhg⁻¹. Perbedaan kapasitas disebabkan oleh kandungan sulfur semakin banyak kandungan sulfur semakin besar kapasitas baterai. Pengujian GCD juga dilakukan sebanyak 100 *cycle* setiap spesimen untuk mengetahui penurunan stabilitas. Hasil pengujian GCD 100 *cycle* dapat dilihat pada Gambar 4.20, 4.21, 4.22 dan 4.23.



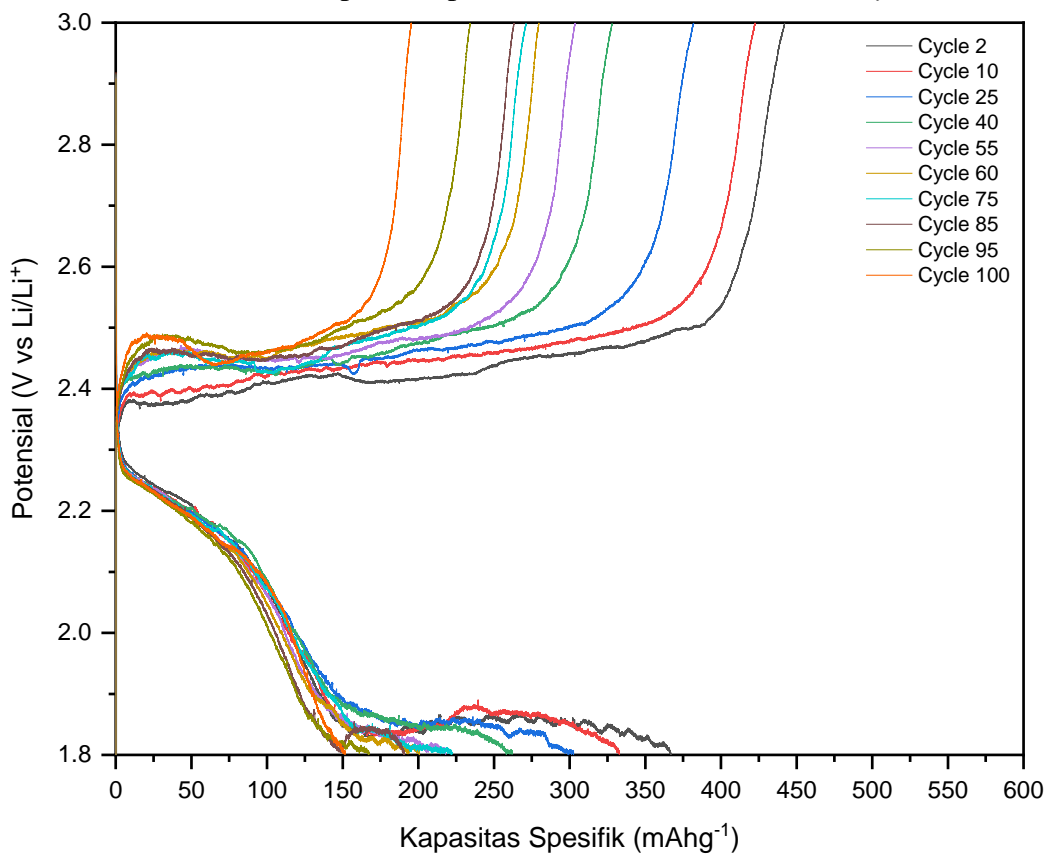
Gambar 4. 20 Kapasitas spesifik S/MnO₂ 100 cycle



Gambar 4. 21 Kapasitas spesifik S/MnO₂/PANI 10% 100 cycle



Gambar 4. 22 Kapasitas spesifik S/MnO₂/PANI 20% 100 cycle



Gambar 4. 23 Kapasitas spesifik S/MnO₂/PANI 30% 100 cycle

Hasil pengujian GCD dari S/MnO₂ pada Gambar 4.20 pada *cycle 2* hingga *cycle 100* mengalami kestabilan nilai kapasitas 214,776 mAhg⁻¹ sampai 188,36 mAhg⁻¹ penurunannya sedikit, hal ini menunjukkan pada *cycle 2* sampai 100 baterai stabil dalam proses *charge* dan *discharge* dapat dilihat dari jarak antar garis *cycle* yang cukup dekat.

Variasi S/MnO₂/PANI 10% pada *cycle 2* mempunyai kapasitas yang paling tinggi dan kestabilan yang hampir sama dengan tanpa *coating*, S/MnO₂/PANI 10% lihat Gambar 4.21 mengalami kestabilan pada *cycle 2* sampai *cycle 100* dan mengalami penurunan sedikit pada rentang kapasitas 819,567 sampai 709,6271 mAhg⁻¹. Pada spesimen S/MnO₂/PANI 20% lihat Gambar 4.22 hasil *charge* dan *discharge* pada *cycle 2* hingga *cycle 100* mengalami penurunan dengan jarak yang cukup tinggi dengan nilai 566,9043 sampai 260,1272, hal ini menunjukkan baterai S/MnO₂/PANI 20% kurang stabil pada pengujian *charge* dan *discharge*. Pada variasi S/MnO₂/PANI 30% menunjukkan hal yang sama menunjukkan jarak antar *cycle* yang cukup tinggi sama dengan pada *cycle 2* hingga *cycle 100* dengan nilai 442,0925 mAhg⁻¹ sampai 195,3507 mAhg⁻¹, dapat diketahui PANI 30% mengalami *charge* dan *discharge* yang kurang stabil, selain *charge* dan *discharge* dapat diketahui juga penurunan stabilitas baterai pada Tabel 4.12. Penurunan stabilitas digunakan untuk mengetahui kestabilan baterai hingga *cycle 100*.

Tabel 4. 12 Perbandingan penurunan stabilitas spesimen S/MnO₂/PANI 0%, S/MnO₂/PANI 10%, S/MnO₂/PANI 20% dan S/MnO₂/PANI 30%

Variasi <i>Coating</i> PANI	Kapasitas Spesifik (mAhg ⁻¹)				Penurunan Stabilitas (%)	
	<i>Charge</i>		<i>Discharge</i>		<i>Charge</i>	<i>Discharge</i>
	<i>Cycle 2</i>	<i>Cycle 100</i>	<i>Cycle 2</i>	<i>Cycle 100</i>		
0%	214,776	188,3653	187,2426	166,0667	87,18	88,68
10%	819,5674	726,7910	711,6122	645,2653	88,67	90,67
20%	566,9043	276,8361	461,0311	233,7504	48,88	50,07
30%	382,0256	195,3507	317,007	151,5461	44,18	44,13

Pada Tabel 4.12 dapat diketahui penurunan stabilitas baterai pada spesimen S/MnO₂ tanpa *coating* pada *cycle 2* 215,5516 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 188,3653 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sedangkan untuk *discharge* pada *cycle 2* 208,0474 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 184,5186 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sehingga didapatkan penurunan stabilitas pada *charge* 87,38 % dan *discharge* 88,68 %. Pada S/MnO₂/PANI 10% *cycle 2* 819,5674 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 557,9974 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sedangkan untuk *discharge* pada *cycle 2* 172,0474 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 726,7910 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sehingga didapatkan penurunan stabilitas pada *charge* 88,67 % dan *discharge* 90,67 %. Pada spesimen S/MnO₂/PANI 20% *cycle 2* 566,9043 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 276,8361 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sedangkan untuk *discharge* pada *cycle 2* 461,0311 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 233,7504 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sehingga didapatkan penurunan stabilitas pada *charge* 48,88 % dan *discharge* 50,07 %. S/MnO₂/PANI 30% pada *cycle 2* 382,0256 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 195,3507 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sedangkan untuk *discharge* pada *cycle 2* 317,007 mAhg⁻¹ kemudian turun menjadi 151,5461 mAhg⁻¹ pada *cycle 100* sehingga didapatkan penurunan stabilitas pada *charge* 44,18 % dan *discharge* 44,13 %. Hal ini membuktikan penambahan pelapisan polianilin dalam jumlah optimal dapat menambahkan stabilitas sedangkan jika pelapisan terlalu berlebihan dapat menurunkan stabilitas baterai (Rachmad Sulaksono Prabowo et al., 2021).

Pengujian GCD juga dapat untuk mengetahui *efficiency coulombic* (EC) baterai dari perbandingan *discharge* dan *charge*, semakin baik EC maka baik pula listrik yang dialirkan oleh baterai kepada barang elektronik, Nilai EC dapat diketahui dengan persamaan 3.3.

Tabel 4. 13 Perbandingan *Efficiency Coulumbic* Baterai

Variasi	Cycle	Charge (mAhg ⁻¹)	Discharge (mAhg ⁻¹)	Effisiensiy Coulombic (%)	Rata - Rata (%)
S/MnO ₂	2	214,776	187,70288	87,39	87,94
	25	209,8167	182,9517	87,19	
	40	207,7225	182,5196	87,86	
	85	197,3385	175,857	89,11	
	100	188,3653	166,0667	88,16	
S/MnO ₂ PANI 10%	2	819,5674	711,612	86.82	89,16
	25	788,6638	696,094	88.26	
	40	771,213	699,379	90.68	
	85	727,612	636,191	87.43	
	100	709,627	657,303	92.62	
S/MnO ₂ PANI 20%	2	566,904	461,031	81.32	86.26
	25	534,533	452,385	84.63	
	40	499,869	439,481	87.92	
	85	313,020	283,921	90.70	
	100	277,861	241,002	86.73	
S/MnO ₂ PANI 30%	2	442,092	366,843	82.98	78.42
	25	381,920	302,581	79.23	
	40	328,009	261,949	79.86	
	85	263,198	190,670	72.44	
	100	195,350	151,546	77.58	

Berdasarkan Tabel 4.13 nilai efisiensi kolumbik tertinggi pada variasi *coating* PANI 10% sebesar 87,94%, kemudian pada variasi tanpa *coating* sebesar 87,94. Pada variasi *coating* PANI 20% efisiensi kolumbik 86,26%, sedangkan efisiensi kolumbik terkecil pada variasi *coating* PANI 30% dengan nilai 78,42%. Efisiensi kolumbik dari variasi PANI 10% baik dikarenakan PANI dapat meningkatkan konduktivitas sekaligus membuat lapisan tipis untuk mencegah terjadinya degradasi katoda yang disebabkan oleh elektrolit dan juga MnO₂ dapat mencegah polisulfida agar baterai mempunyai stabilitas baik pada banyak *cycle* (Kim et al., 2015; Liang & Nazar, 2016; Wu et al., 2011).

Pengujian GCD merupakan alasan penguat pengujian sebelumnya CV, dan EIS material yang memiliki performa paling bagus adalah S/MnO₂/PANI 10%, setelah Analisa GCD mempunyai kapasitas paling besar dan stabilitas tinggi. Sehingga dengan ketiga pengujian tersebut telah mampu membuktikan bahwa material yang paling direkomendasikan untuk katoda baterai *lithium-sulfur* adalah S/MnO₂/PANI 10% melalui metode polimerisasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dalam penelitian *coating* PANI terhadap katoda baterai *lithium-sulfur* yaitu:

1. Pada uji XRD diketahui struktur sulfur yaitu orthorombik dan MnO_2 yang terbentuk δ - MnO_2 . Pengaruh penambahan *coating* PANI 10%, 20% dan 30% memperkecil ukuran *crystallite size*. Material yang ditambahkan PANI mempunyai ukuran *crystallite size* semakin kecil sehingga lebih mudah dalam melakukan transfer elektron. *Crystallite size* paling kecil ditemukan pada variasi PANI 10%. Pada uji FTIR dapat diketahui jenis PANI yang terbentuk Emeraldin Base. Pelapisan *coating* PANI dalam uji SEM diketahui PANI melapisi permukaan katoda dan membentuk lapisan melalui polimerisasi.
2. Katoda baterai *lithium-sulfur* dengan variasi PANI 10% memiliki performa elektrokimia paling tinggi jika dibandingkan dengan variasi PANI 0%, PANI 20% dan PANI 30% dengan memiliki kapasitas *charge* dan *discharge* sebesar $819,5674 \text{ mAhg}^{-1}$ dan $711,6122 \text{ mAhg}^{-1}$ pada *cycle 2* dengan stabilitas *charge* 88,67% dan *discharge* 90,67% serta efisiensi kolumbik sebesar 89,16%. Variasi PANI 10% juga memiliki nilai R_{ct} paling rendah sebesar 11,596 Ohm, untuk itu material ini layak menjadi kandidat sebagai katoda baterai *lithium-sulfur*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Melakukan *coating* PANI pada katoda dengan komposisi optimal dan fasa PANI sudah terbentuk.
2. Memastikan fasa MnO_2 harus terbentuk karena MnO_2 sangat berpengaruh pada stabilitas peforma baterai.
3. Memastikan menggunakan anoda *lithium* yang tidak rusak dan disimpan dalam gas argon.
4. Memastikan ketebalan *coating slurry* pada aluminium foil 100-500 *micron*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Azaceta, E., García, S., Leonet, O., Beltrán, M., Gómez, I., Chuvilin, A., Mainar, A. R., Blazquez, J. A., & Knez, M. (2020). Particle atomic layer deposition as an effective way to enhance Li-S battery energy density. *Materials Today Energy*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2020.100567>
- Borah, R., Hughson, F. R., Johnston, J., & Nann, T. (2020). On battery materials and methods. In *Materials Today Advances* (Vol. 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2019.100046>
- Byjus. (2022). *Types Of Battery - Primary cell & Secondary cell*. Byjus.Com. <https://byjus.com/chemistry/battery-types/>
- Dhivya, C., Vandarkuzhali, S. A. A., & Radha, N. (2019). Antimicrobial activities of nanostructured polyanilines doped with aromatic nitro compounds. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 3785–3798. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.12.005>
- Direktorat Konservasi Energi Kementerian ESDM. (2019). *Data & Informasi - Konservasi Energi 2018*. 61. www.ebtke.esdm.go.id
- Dong, Y. Z., Han, W. J., & Choi, H. J. (2018). Polyaniline coated core-shell typed stimuli-responsive microspheres and their electrorheology. In *Polymers* (Vol. 10, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym10030299>
- ESDM. (2019). *Keputusan Menteri Energi Sumber Daya dan Mineral Nomer 77 Tahun 2019.pdf*. 06 May 2019. <https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1956/detail>
- Fan, X., Sun, W., Meng, F., Xing, A., & Liu, J. (2018). Advanced chemical strategies for lithium–sulfur batteries: A review. In *Green Energy and Environment* (Vol. 3, Issue 1, pp. 2–19). KeAi Publishing Communications Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2017.08.002>
- Gandomi, Y. A., Aaron, D. S., Houser, J. R., Daugherty, M. C., Clement, J. T., Pezeshki, A. M., Ertugrul, T. Y., Moseley, D. P., & Mench, M. M. (2018). Critical Review—Experimental Diagnostics and Material Characterization Techniques Used on Redox Flow Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(5), A970–A1010. <https://doi.org/10.1149/2.0601805jes>
- González-González, L., Luna-Rodríguez, L., Carrillo-López, L. M., Alarcón-Rojo, A. D., García-Galicia, I., & Reyes-Villagrana, R. (2017). Ultrasound as an alternative to conventional marination: Acceptability and mass transfer. *Journal of Food Quality*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8675720>
- Guo, J., & Liu, J. (2019). A binder-free electrode architecture design for lithium-sulfur batteries: A review. In *Nanoscale Advances* (Vol. 1, Issue 6, pp. 2104–2122). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c9na00040b>
- Han, F., Gao, T., Zhu, Y., Gaskell, K. J., & Wang, C. (2015). A battery made from a single material. *Advanced Materials*, 27(23), 3473–3483. <https://doi.org/10.1002/adma.201500180>
- Hao, J., Mou, J., Zhang, J., Dong, L., Liu, W., Xu, C., & Kang, F. (2018). Electrochemically induced spinel-layered phase transition of Mn₃O₄ in high performance neutral aqueous rechargeable zinc battery. *Electrochimica Acta*, 259, 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.10.166>
- He, Y., Shan, Z., Tan, T., Chen, Z., & Zhang, Y. (2018). Ternary sulfur/polyacrylonitrile/sio₂ composite cathodes for high-performance sulfur/lithium ion full batteries. *Polymers*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/polym10080930>
- Herzog, M. J., Gauquelin, N., Esken, D., Verbeeck, J., & Janek, J. (2021). Facile Dry Coating Method of High-Nickel Cathode Material by Nanostructured Fumed Alumina (Al₂O₃) Improving the Performance of Lithium-Ion Batteries. *Energy Technology*, 9(4). <https://doi.org/10.1002/ente.202100028>

- Inaba, K., Kobayashi, S., Uehara, K., Okada, A., Reddy, S. L., & Endo, T. (2013). High Resolution X-Ray Diffraction Analyses of (La,Sr)MnO₃/ZnO/Sapphire(0001) Double Heteroepitaxial Films. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 03(01), 72–89. <https://doi.org/10.4236/ampc.2013.31a010>
- Islam, I. F. H., Widyastuti, R. W., Pratama, A. N. R., & Purniawan, A. (2022). ANTASENA BIOHIDROGEN: GENERATOR BERBASIS LIMBAH KELAPA SAWIT GUNA MENINGKATKAN KERJA SAMA INDONESIA-TIONGKOK DI BIDANG RENEWABLE ENERGY. *OISAA Journal of Indonesia Emas*, 5, 43–56.
- Kim, J. H., Fu, K., Choi, J., Kil, K., Kim, J., Han, X., Hu, L., & Paik, U. (2015). Encapsulation of S/SWNT with PANI web for enhanced rate and cycle performance in lithium sulfur batteries. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/srep08946>
- Kulkarni, G. K., Jadhav, S. A., Patil, K. T., Patil, P. S., & Puri, V. R. (2021). α -MnO₂ nanorods-polyaniline (PANI) nanocomposites synthesized by polymer coating and grafting approaches for screening EMI pollution. *Ceramics International*, 47(11), 15044–15051. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.061>
- Kwak, W. J., Rosy, Sharon, D., Xia, C., Kim, H., Johnson, L. R., Bruce, P. G., Nazar, L. F., Sun, Y. K., Frimer, A. A., Noked, M., Freunberger, S. A., & Aurbach, D. (2020). Lithium-Oxygen Batteries and Related Systems: Potential, Status, and Future. In *ACS Applied Materials and Interfaces*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00609>
- 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, W., Zhang, Q., Zheng, G., Seh, Z. W., Yao, H., & Cui, Y. (2013). Understanding the role of different conductive polymers in improving the nanostructured sulfur cathode performance. *Nano Letters*, 13(11), 5534–5540. <https://doi.org/10.1021/nl403130h>
- Liang, X., & Nazar, L. F. (2016). In Situ Reactive Assembly of Scalable Core-Shell Sulfur-MnO₂ Composite Cathodes. *ACS Nano*, 10(4), 4192–4198. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b07458>
- Linden, David., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of batteries*. McGraw-Hill.
- LIPI, B. (2019). *LITHIUM-ION BATTERY RECYCLING R&D*. November.
- Liu, M., Ye, C., Peng, L., & Weng, J. (2022). Influence of Binder on Impedance of Lithium Batteries: A Mini-review. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 17(2), 1281–1291. <https://doi.org/10.1007/s42835-021-00936-w>
- Liun, E. (2018). Dampak Peralihan Massal Transportasi Jalan Raya Ke Mobil Listrik. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 19(2), 113. <https://doi.org/10.17146/jpen.2017.19.2.4075>
- Long, L., Wang, S., Xiao, M., & Meng, Y. (2016). Polymer electrolytes for lithium polymer batteries. In *Journal of Materials Chemistry A* (Vol. 4, Issue 26, pp. 10038–10039). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c6ta02621d>
- Ma, Q., Tong, B., Fang, Z., Qi, X., Feng, W., Nie, J., Hu, Y.-S., Li, H., Huang, X., Chen, L., & Zhou, Z. (2016). Impact of Anionic Structure of Lithium Salt on the Cycling Stability of Lithium-Metal Anode in Li-S Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(8), A1776–A1783. <https://doi.org/10.1149/2.1301608jes>
- Mandal, S., Saha, S. K., & Chowdhury, P. (2017). Synthesis and Characterization of Polyaniline Based materials: Their biological relevance-An Overview. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 6(5), 2309–2321. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.605.258>
- Manthiram, A., Fu, Y., Chung, S. H., Zu, C., & Su, Y. S. (2014). Rechargeable lithium-sulfur batteries. In *Chemical Reviews* (Vol. 114, Issue 23, pp. 11751–11787). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/cr500062v>

- Merck. (2021). *Safety Data Sheet for Anilina*.
- Min, J. H., Patel, M., & Koh, W. G. (2018). Incorporation of conductive materials into hydrogels for tissue engineering applications. In *Polymers* (Vol. 10, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym10101078>
- 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. (2017). *High Capacity Li-ion Battery Anodes: Impact of Crystallite Size, Surface Chemistry and PEG-Coating*. <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- N. Omar, P. V. den B., G. Mulder, M. Daowd, J. M. T., J. Van Mierlo, & S. Pauwels. (2011). Assessment of Performance of Lithium Iron Phosphate Oxide, Nickel Manganese Cobalt Oxide and Nickel Cobalt Aluminum Oxide Based cells for Using in Plug-in Battery Electric Vehicle Applications. *IEE Vehicle Power and Propulsion Conference*.
- Pan, C., Lee, Y. J., Ammundsen, B., & Grey, C. P. (2002). 6Li MAS NMR studies of the local structure and electrochemical properties of Cr-doped lithium manganese and lithium cobalt oxide cathode materials for lithium-ion batteries. *Chemistry of Materials*, 14(5), 2289–2299. <https://doi.org/10.1021/cm011623u>
- Pathak, R., Chen, K., Gurung, A., Reza, K. M., Bahrami, B., Pokharel, J., Baniya, A., He, W., Wu, F., Zhou, Y., Xu, K., & Qiao, Q. (Quinn). (2020). Fluorinated hybrid solid-electrolyte-interphase for dendrite-free lithium deposition. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13774-2>
- Perdana, F. A. (2021). Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 113. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082>
- Perpres Nomer 55. (2019). *Peraturan Presiden (PERPRES) tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) untuk Transportasi Jalan*. 008553.
- Prasutiyo, Y. J., Manaf, A., & Hafizah, M. A. E. (2020). Synthesis of polyaniline by chemical oxidative polymerization and characteristic of conductivity and reflection for various strong acid dopants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1442(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1442/1/012003>
- Putra, O., Fadila, R., Andrijanto, E., & Ratna Suminar, D. (2021). SINTESIS DAN KARAKTERISASI BAHAN KATODA BATERAI LITHIUM IRON PHOSPHATE (LiFePO₄) MENGGUNAKAN METODE SOLID STATE REACTION. *Fluida*.
- Putri, R. K. P., Putra, * N M D, Fisika, P., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2014). Unnes Physics Journal KARAKTERISTIK STRUKTUR, OPTIK, DAN LISTRIK FILM TIPIS POLIANILIN (PANI) DOPING HCl YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE SPIN COATING. In *UPJ* (Vol. 3, Issue 1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/upj>
- Rachmad Sulaksono Prabowo, Lukman Noerochim, & Widyastuti. (2021). *PENAMBAHAN IODIN DAN PELAPISAN POLIANILIN PADA ANODA Li 4 Ti 5 O 12 DENGAN METODE PENGGILINGAN SEDERHANA UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA BATERAI ION LITUM*.
- Rahayu, I., Rukiah, R., Eddy, D. R., Noviyanti, A. R., & Hidayat, S. (2018). Peningkatan Konduktivitas Baterai Litium Besi Fosfat Dengan Polianilina Didoping Asam Format. *Chimica et Natura Acta*, 6(3), 106. <https://doi.org/10.24198/cna.v6.n3.19092>
- Ridwan, M., Program, H., Kimia, S., Sains, F., Teknologi, D., Banda, A.-R., Darussalam, A. K., & Aceh, B. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. In *Circuit* (Vol. 2, Issue 1).
- Setiawan, B., Iasha, V., & Hikmah, U. (2020). Lithium-Sulfur Battery: The Review Of Cathode Composite Fabrication Method. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*. www.ijstr.org

- Setyowati, V. A., Noerochim, L., Susanti, D., Pradesar, Y., Huang, H. C., Chang, S. T., Wang, K. C., & Wang, C. H. (2020). High oxygen reduction reaction activity on various iron loading of Fe-PANI/C catalyst for PEM fuel cell. *Ionics*, 26(2), 813–822. <https://doi.org/10.1007/s11581-019-03240-w>
- Sharma, S., Jaiswal, S., Duffy, B., & Jaiswal, A. K. (2019). Nanostructured Materials for Food Applications: Spectroscopy, Microscopy and Physical Properties. In *Bioengineering* (Vol. 6, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/bioengineering6010026>
- Shin, J., Seo, J. K., Yaylian, R., Huang, A., & Meng, Y. S. (2020). A review on mechanistic understanding of MnO₂ in aqueous electrolyte for electrical energy storage systems. *International Materials Reviews*, 65(6), 356–387. <https://doi.org/10.1080/09506608.2019.1653520>
- Su, Y. S., Fu, Y., & Manthiram, A. (2012). Self-weaving sulfur-carbon composite cathodes for high rate lithium-sulfur batteries. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14(42), 14495–14499. <https://doi.org/10.1039/c2cp42796f>
- Subagiada, K., & Inu Natalisanto, A. (2021). STUDI PENGGUNAAN SUPERKAPASITOR SEBAGAI MEDIA PENYIMPAN ENERGI. In *Progressive Physics Journal* (Vol. 2, Issue 2). <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/ppj/indexHalaman/79>
- Sun, Y., Li, B., He, Y.-B., Org, W. E., Xu, C., Xu, J., He, Y., Du, H., & Kang, F. (2014). Synthesis of Single-Crystalline LiMn₂O₄ with Different Dimensional Nanostructures for Li-ion Batteries Enabling Next Generation Lithium Batteries View project Nextrode View project ELECTROCHEMICAL SCIENCE Synthesis of Single-Crystalline LiMn₂O₄ with Different Dimensional Nanostructures for Li-ion Batteries. In *Article in International Journal of Electrochemical Science* (Vol. 9). www.electrochemsci.org
- Sundén, B. (2019). Battery technologies. In *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells* (pp. 57–79). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816950-6.00004-x>
- Tahalyani, J., Rahangdale, K. K., & Balasubramanian, K. (2016). The dielectric properties and charge transport mechanism of π -conjugated segments decorated with intrinsic conducting polymer. *RSC Advances*, 6(74), 69733–69742. <https://doi.org/10.1039/c6ra09554b>
- Tao, Z., Xiao, J., Yang, Z., & Wang, H. (2019). Graphene/Sulfur@Graphene composite structure material for a lithium-sulfur battery cathode. *Journal of Nanomaterials*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6480236>
- Wang, J., & Zhang, S. (2020). Synthesis of polyaniline-sulfur composites with different nanostructures: Via an interfacial emulsification method and a micelle template method and their properties. *RSC Advances*, 10(19), 11455–11462. <https://doi.org/10.1039/d0ra00122h>
- Wu, F., Chen, J., Li, L., Zhao, T., & Chen, R. (2011). Improvement of rate and cycle performance by rapid polyaniline coating of a MWCNT/sulfur cathode. *Journal of Physical Chemistry C*, 115(49), 24411–24417. <https://doi.org/10.1021/jp207893d>
- Xu, B., Qian, D., Wang, Z., & Meng, Y. S. (2012). Recent progress in cathode materials research for advanced lithium ion batteries. In *Materials Science and Engineering R: Reports* (Vol. 73, Issues 5–6, pp. 51–65). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2012.05.003>
- Yi, T. F., Yang, S. Y., & Xie, Y. (2015). Recent advances of Li₄Ti₅O₁₂ as a promising next generation anode material for high power lithium-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(11), 5750–5777. <https://doi.org/10.1039/c4ta06882c>
- Yongping Zhai. (2018). *Handbook on Battery Energy Storage System* (Yongping Zhai, Ed.). Asian Development Bank. <https://doi.org/10.22617/TCS189791-2>
- 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>
- Zhang, R., Xia, B., Li, B., Cao, L., Lai, Y., Zheng, W., Wang, H., & Wang, W. (2018). State of the art of lithium-ion battery SOC estimation for electrical vehicles. In *Energies* (Vol. 11, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en11071820>
- Zhang, Y., Liu, X., Wu, L., Dong, W., Xia, F., Chen, L., Zhou, N., Xia, L., Hu, Z. Y., Liu, J., Mohamed, H. S. H., Li, Y., Zhao, Y., Chen, L., & Su, B. L. (2020). A flexible, hierarchically porous PANI/MnO₂ network with fast channels and an extraordinary chemical process for stable fast-charging lithium-sulfur batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(5), 2741–2751. <https://doi.org/10.1039/c9ta12135h>
- Zhao, X., Cheruvally, G., Kim, C., Cho, K. K., Ahn, H. J., Kim, K. W., & Ahn, J. H. (2016). Lithium/sulfur secondary batteries: A review. In *Journal of Electrochemical Science and Technology* (Vol. 7, Issue 2, pp. 97–114). Korean Electrochemical Society. <https://doi.org/10.5229/JECST.2016.7.2.97>
- Zhou, W., Yu, Y., Chen, H., Disalvo, F. J., & Abruña, H. D. (2013). Yolk-shell structure of polyaniline-coated sulfur for lithium-sulfur batteries. *Journal of the American Chemical Society*, 135(44), 16736–16743. <https://doi.org/10.1021/ja409508q>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Refrensi Peak XRD Refrensi Peak XRD Sulfur

Name and formula

Reference code: 96-231-0805
Compound name: 2310804
Common name: 2310804
Chemical formula: S_{128.00}

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: F d d d
Space group number: 70
a (Å): 10.4370
b (Å): 12.8450
c (Å): 24.3690
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Calculated density (g/cm³): 2.09
Volume of cell (10⁶ pm³): 3266.99
RIR: 2.20

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
Quality: None ()

Comments

Creation Date: 2/8/2021 7:47:26 PM
Modification Date: 2/8/2021 7:47:26 PM
Publication title: The crystal and molecular structure of orthorhombic sulphur
COD database code: 2310804

References

Structure: Abrahams, S.C., *Acta Crystallographica (1,1948-23,1967)*, **8**, 661 - 671, (1955)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	7.68665	11.503	6.4
2	0	0	4	6.09225	14.528	0.0
3	1	1	3	5.73574	15.436	14.5
4	0	2	2	5.68154	15.584	6.0
5	2	0	2	4.79705	18.481	1.7
6	1	1	5	4.17613	21.258	2.0
7	2	2	0	4.05008	21.928	11.8
8	1	3	1	3.90997	22.724	13.8
9	2	2	2	3.84333	23.124	100.0

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



10	1	3	3	3.56048	24.989	6.7
11	0	2	6	3.43270	25.935	39.0
12	2	2	4	3.37279	26.404	2.8
13	3	1	1	3.32658	26.778	23.0
14	0	4	0	3.21125	27.758	11.5
15	2	0	6	3.20516	27.812	25.2
16	1	1	7	3.19841	27.872	13.1
17	3	1	3	3.10330	28.744	21.5
18	1	3	5	3.07400	29.024	15.5
19	0	0	8	3.04612	29.296	1.1
20	2	2	6	2.86787	31.162	0.0
21	0	4	4	2.84077	31.466	20.0
22	3	1	5	2.76521	32.349	0.3
23	3	3	1	2.68363	33.361	2.2
24	2	4	2	2.66852	33.556	1.3
25	1	3	7	2.61497	34.264	12.3
26	4	0	0	2.60925	34.341	2.7
27	1	1	9	2.56799	34.911	0.3
28	3	3	3	2.56222	34.992	4.0
29	2	4	4	2.49504	35.966	8.8
30	1	5	1	2.48158	36.168	4.8
31	2	2	8	2.43443	36.893	0.0
32	3	1	7	2.41688	37.171	15.4
33	4	0	4	2.39852	37.466	2.6
34	1	5	3	2.38463	37.692	0.0
35	4	2	2	2.37115	37.915	4.7
36	3	3	5	2.36184	38.070	5.5
37	0	2	10	2.27840	39.521	7.7
38	2	4	6	2.26854	39.700	0.0
39	4	2	4	2.24695	40.098	0.3
40	1	3	9	2.23536	40.314	0.1
41	1	5	5	2.22058	40.595	0.6
42	0	4	8	2.21001	40.797	1.9
43	2	0	10	2.20802	40.836	0.2
44	1	1	11	2.13689	42.259	4.0
45	3	3	7	2.13355	42.328	0.7
46	0	6	2	2.10853	42.855	9.7
47	3	1	9	2.10781	42.871	8.0
48	2	2	10	2.08806	43.296	2.5
49	4	2	6	2.07727	43.533	0.1
50	3	5	1	2.05923	43.934	0.0
51	5	1	1	2.05305	44.073	1.9
52	2	4	8	2.03504	44.484	1.4
53	0	0	12	2.03075	44.583	0.0
54	1	5	7	2.02771	44.653	0.5
55	4	4	0	2.02504	44.715	0.1
56	3	5	3	2.00282	45.239	2.1
57	4	4	2	1.99764	45.363	1.0
58	5	1	3	1.99713	45.375	0.1
59	4	0	8	1.98164	45.750	4.6
60	2	6	0	1.98064	45.774	0.0
61	2	6	2	1.95498	46.410	4.0
62	1	3	11	1.93353	46.955	0.0
63	4	4	4	1.92166	47.263	1.7
64	3	3	9	1.91191	47.519	0.2
65	3	5	5	1.90264	47.765	1.9
66	5	1	5	1.89776	47.895	9.3
67	0	6	6	1.89385	48.000	1.4
68	4	2	8	1.89356	48.008	3.5
69	2	6	4	1.88360	48.278	0.3

LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

70	5	3	1	1.87076	48.631	0.1
71	3	1	11	1.84920	49.235	1.0
72	1	5	9	1.83463	49.652	1.4
73	5	3	3	1.82816	49.840	0.5
74	1	1	13	1.82627	49.895	1.3
75	2	4	10	1.81942	50.096	2.5
76	2	2	12	1.81533	50.216	5.6
77	4	4	6	1.81227	50.307	0.0
78	1	7	1	1.80233	50.604	0.6
79	2	6	6	1.78024	51.277	0.1
80	3	5	7	1.77708	51.375	18.0
81	5	1	7	1.77310	51.499	0.1
82	1	7	3	1.76414	51.780	0.8
83	5	3	5	1.75102	52.197	10.4
84	6	0	2	1.72204	53.144	8.6
85	0	4	12	1.71635	53.334	6.0
86	4	2	10	1.71620	53.339	2.8
87	3	3	11	1.71266	53.458	1.6
88	1	7	5	1.69453	54.076	12.4
89	4	4	8	1.68639	54.358	0.1
90	0	2	14	1.68003	54.581	0.3
91	6	2	0	1.67901	54.617	0.0
92	6	2	2	1.66329	55.177	0.5
93	2	6	8	1.66049	55.278	2.9
94	1	5	11	1.65645	55.425	1.4
95	5	3	7	1.65168	55.598	2.9
96	2	0	14	1.65121	55.616	0.3
97	3	5	9	1.64279	55.925	8.5
98	4	6	2	1.63999	56.029	0.1
99	5	1	9	1.63965	56.042	1.0
100	3	1	13	1.63678	56.149	1.3
101	2	4	12	1.63043	56.387	0.4
102	3	7	1	1.61948	56.803	7.3
103	6	2	4	1.61866	56.834	4.2
104	5	5	1	1.61647	56.918	2.3
105	0	6	10	1.60834	57.232	0.6
106	0	8	0	1.60563	57.338	0.0
107	1	7	7	1.60401	57.401	0.0
108	4	0	12	1.60258	57.457	2.1
109	2	2	14	1.59920	57.590	7.3
110	6	0	6	1.59902	57.597	0.0
111	4	6	4	1.59716	57.671	0.5
112	1	1	15	1.59288	57.840	3.0
113	3	7	3	1.59160	57.891	3.1
114	5	5	3	1.58874	58.005	0.8
115	4	4	10	1.55747	59.285	2.9
116	4	2	12	1.55490	59.392	0.7
117	0	8	4	1.55261	59.489	0.1
118	6	2	6	1.55165	59.529	0.1
119	5	3	9	1.54221	59.931	0.6

Referensi peak δ -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/cm ³):	3.47
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	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

LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

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

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



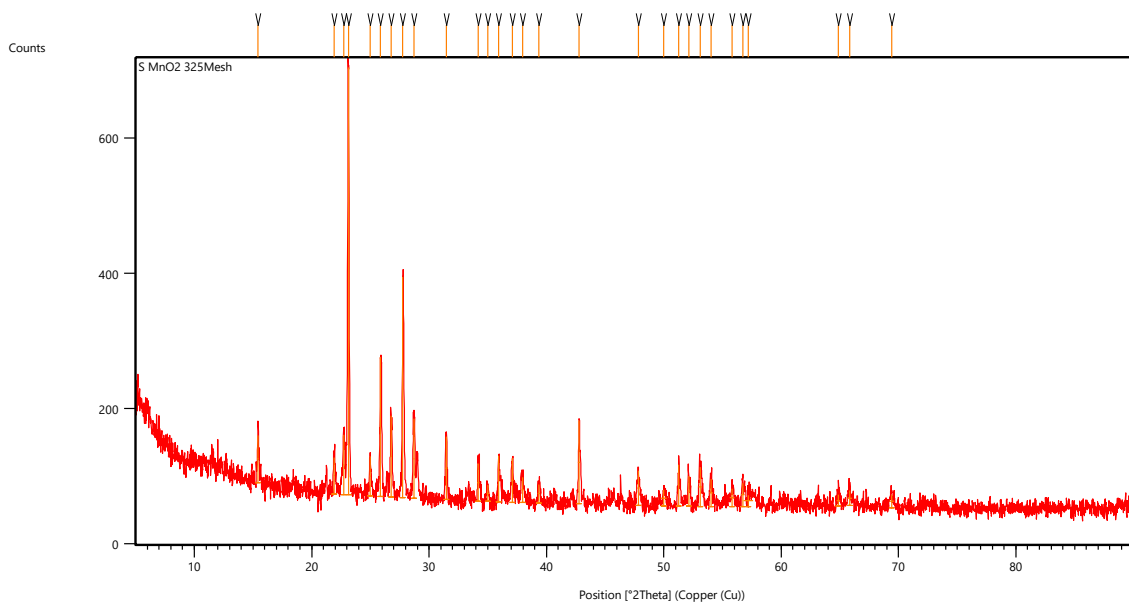
60	-1	1	4	1.22299	78.078	0.4
61	2	1	3	1.22025	78.287	0.2
62	1	2	4	1.22007	78.301	0.3
63	-2	-1	3	1.21842	78.427	0.3
64	0	2	3	1.21061	79.031	0.8
65	-2	0	2	1.20735	79.287	0.3
66	2	0	1	1.20574	79.414	0.7
67	0	-2	1	1.20392	79.558	0.3
68	2	2	2	1.20322	79.613	0.2
69	-2	-2	1	1.19987	79.880	0.7
70	1	0	5	1.18594	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

XRD S/MnO₂ 325 Mesh

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Measurement Date / Time	4/5/2022 11:48:58 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
Diffractionmeter Type	0000000011119014
Diffractionmeter 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)

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	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

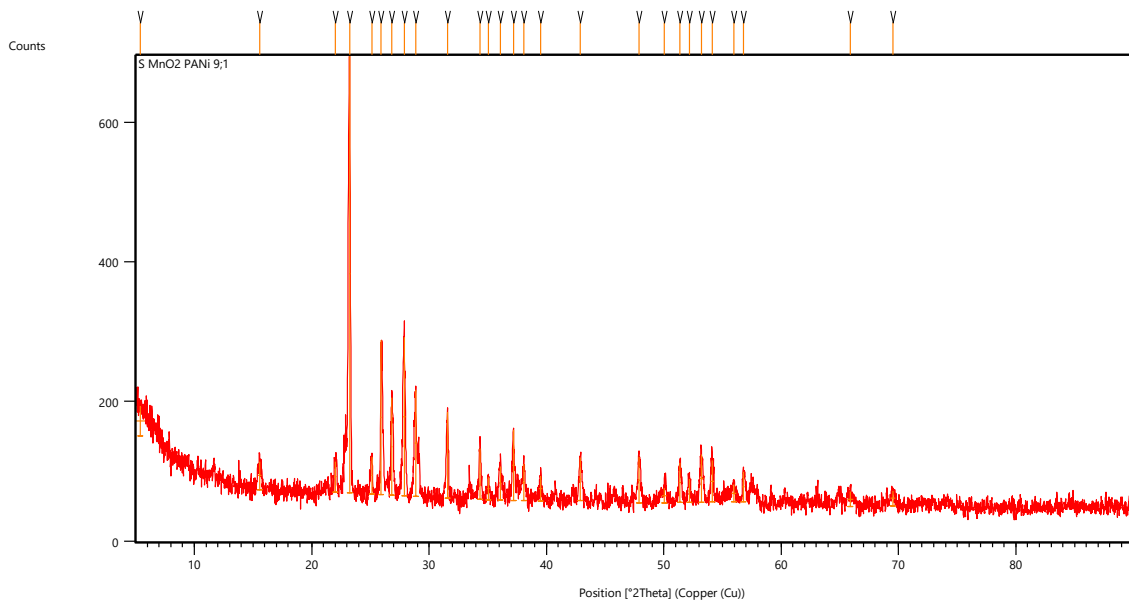
XRD S/MnO₂/PANI 9:1

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Measurement Date / Time	4/5/2022 11:13:45 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. [%]
5.4197	42.34	0.8029	16.30647	6.71
15.5995	40.28	0.3346	5.68071	6.39
22.0393	43.97	0.2007	4.03324	6.97
23.2236	630.87	0.1171	3.83017	100.00
25.1141	53.39	0.1338	3.54597	8.46
25.9030	220.89	0.0502	3.43975	35.01
26.8236	140.08	0.1171	3.32375	22.20
27.8839	227.09	0.2007	3.19972	36.00
28.8440	153.16	0.2007	3.09537	24.28
31.5736	123.54	0.1338	2.83371	19.58
34.3292	73.38	0.1338	2.61230	11.63
35.0471	32.59	0.2007	2.56042	5.17
36.0632	48.45	0.2007	2.49058	7.68
37.1790	100.88	0.1673	2.41836	15.99
38.0726	52.08	0.2007	2.36363	8.25
39.5024	35.77	0.2676	2.28131	5.67
42.8916	62.17	0.2342	2.10857	9.86
47.8799	66.35	0.2007	1.89989	10.52
50.0317	21.31	0.4015	1.82311	3.38
51.3515	56.62	0.2007	1.77931	8.97

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



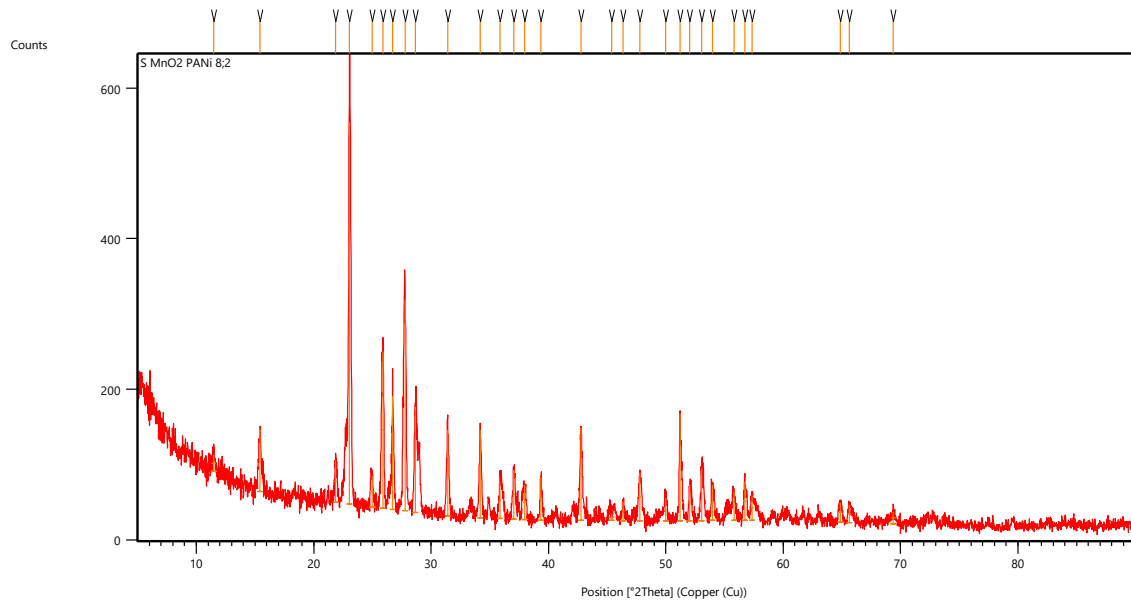
52.1748	33.83	0.2007	1.75316	5.36
53.2084	68.60	0.2676	1.72152	10.87
54.1155	59.44	0.2676	1.69478	9.42
55.9743	24.73	0.4015	1.64283	3.92
56.7637	42.65	0.2342	1.62184	6.76
65.8841	20.68	0.5353	1.41771	3.28
69.5090	21.57	0.4015	1.35238	3.42

XRD S/MnO₂/PANI 8:2

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	S MnO2 PANi 8;2
Measurement Date / Time	4/5/2022 11:02:16 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
Diffraction Type	0000000011119014
Diffraction 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)



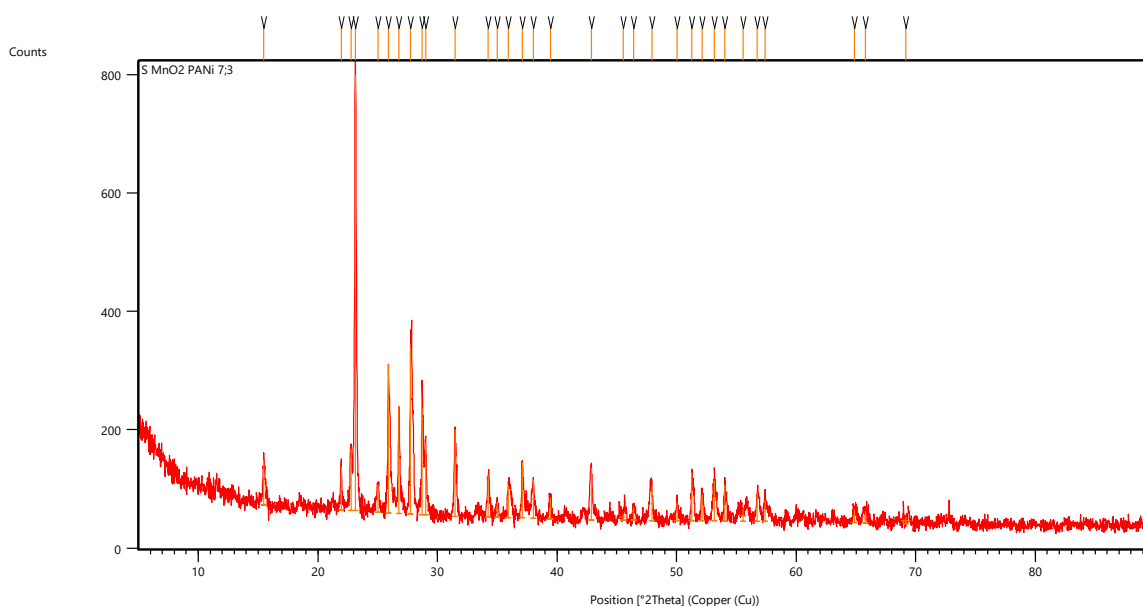
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
11.4651	21.54	0.4015	7.71824	4.25
15.4418	82.71	0.2007	5.73837	16.30
21.8874	56.30	0.2007	4.06090	11.10
23.0182	507.31	0.1338	3.86389	100.00
24.9673	41.39	0.4015	3.56650	8.16
25.9116	208.12	0.2342	3.43863	41.02
26.7240	151.10	0.1673	3.33591	29.78
27.7771	280.67	0.2342	3.21179	55.32
28.6724	139.91	0.2007	3.11350	27.58
31.4239	114.58	0.2007	2.84687	22.59
34.1918	117.12	0.1673	2.62249	23.09
35.8555	47.33	0.2342	2.50452	9.33
37.0750	65.07	0.1673	2.42490	12.83
37.9476	45.66	0.3346	2.37112	9.00
39.3669	56.69	0.1673	2.28885	11.17
42.7785	123.09	0.1673	2.11388	24.26
45.3976	9.03	0.5353	1.99783	1.78
46.3586	25.03	0.2007	1.95863	4.93
47.7910	63.45	0.2676	1.90322	12.51
50.0048	30.02	0.2007	1.82403	5.92
51.1944	142.47	0.1004	1.78441	28.08
52.0473	47.24	0.2342	1.75715	9.31
53.0454	69.71	0.1338	1.72642	13.74
53.9803	47.19	0.2676	1.69871	9.30
55.7980	38.45	0.2676	1.64760	7.58
56.7608	50.84	0.2676	1.62192	10.02
57.3473	32.69	0.2676	1.60672	6.44
64.8485	25.33	0.3346	1.43782	4.99
65.6205	23.99	0.2676	1.42276	4.73
69.3809	15.31	0.4015	1.35456	3.02

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name S MnO2 PANi 7;3
 Measurement Date / Time 4/5/2022 11:40:04 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. [%]
--------------	--------------	-------------------	---------------	---------------

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

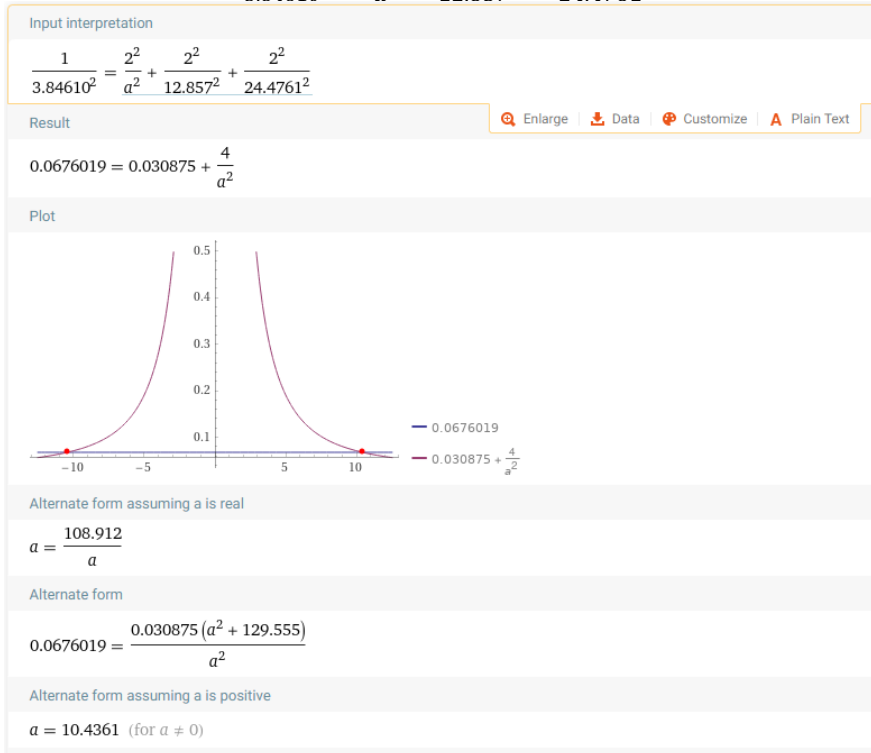
15.4631	76.88	0.1673	5.73051	10.44
21.9501	72.95	0.1004	4.04943	9.90
22.7590	104.37	0.1338	3.90730	14.17
23.1279	736.64	0.1171	3.84581	100.00
25.0160	44.80	0.2007	3.55966	6.08
25.8904	249.63	0.0669	3.44139	33.89
26.7843	180.45	0.0836	3.32854	24.50
27.7579	281.36	0.1338	3.21396	38.20
28.7256	180.57	0.0669	3.10785	24.51
29.0266	122.02	0.1004	3.07631	16.56
31.4638	146.94	0.1004	2.84336	19.95
34.2564	70.25	0.2007	2.61769	9.54
35.0045	26.09	0.2676	2.56344	3.54
35.9275	53.25	0.2342	2.49967	7.23
37.1049	94.77	0.1338	2.42301	12.87
38.0244	65.14	0.2342	2.36651	8.84
39.4293	34.52	0.2007	2.28537	4.69
42.8762	87.50	0.2007	2.10929	11.88
45.5407	10.81	0.6691	1.99189	1.47
46.4326	22.58	0.2007	1.95568	3.07
47.9456	57.46	0.2342	1.89744	7.80
50.0638	30.82	0.2007	1.82202	4.18
51.2840	81.43	0.1673	1.78150	11.05
52.1514	44.86	0.2007	1.75389	6.09
53.1564	68.51	0.2676	1.72308	9.30
54.0152	61.68	0.1004	1.69769	8.37
55.5666	19.61	0.5353	1.65392	2.66
56.7550	48.65	0.2007	1.62207	6.60
57.4033	35.42	0.2007	1.60529	4.81
64.8549	22.16	0.3346	1.43769	3.01
65.7953	20.12	0.4015	1.41941	2.73
69.1537	10.71	0.8029	1.35845	1.45

Lampiran 2 Perhitungan Parameter Kisi dengan *Wolfram alpha*

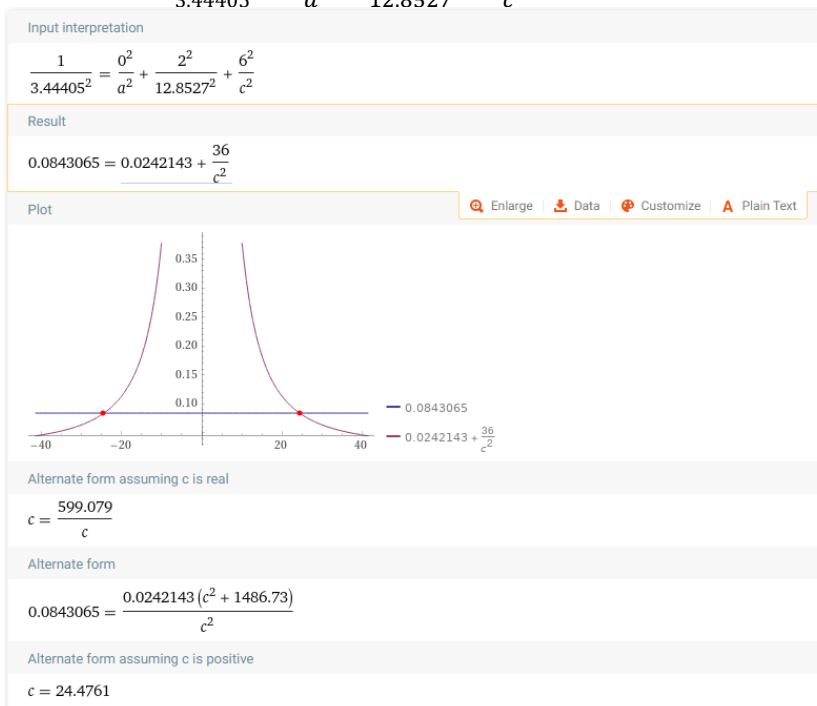
$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Parameter Kisi S/MnO₂:

Titik Pertama: $\frac{1}{3.84610^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.857^2} + \frac{2^2}{24.4761^2}$



Titik Kedua: $\frac{1}{3.44405^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8527^2} + \frac{6^2}{c^2}$



Titik Ketiga: $\frac{1}{3.21318^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

Input interpretation

$$\frac{1}{3.21318^2} = \frac{4^2}{b^2}$$

Result

$$0.0968567 = \frac{16}{b^2}$$

Solutions

$b \approx -12.8527$

$b \approx 12.8527$

Download Page

POWERED BY THE WOLFRAM LANGUAGE

Parameter Kisi S/MnO₂/PANI 9:1:

Titik Pertama: $\frac{1}{3.83017^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.7989^2} + \frac{2^2}{24.4747^2}$

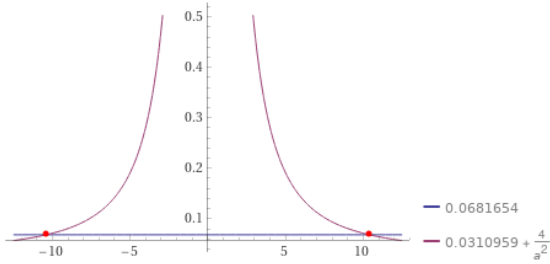
Input interpretation

$$\frac{1}{3.83017^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.7989^2} + \frac{2^2}{24.4747^2}$$

Result

$$0.0681654 = 0.0310959 + \frac{4}{a^2}$$

Plot



Alternate form assuming a is real

$$a = \frac{107.906}{a}$$

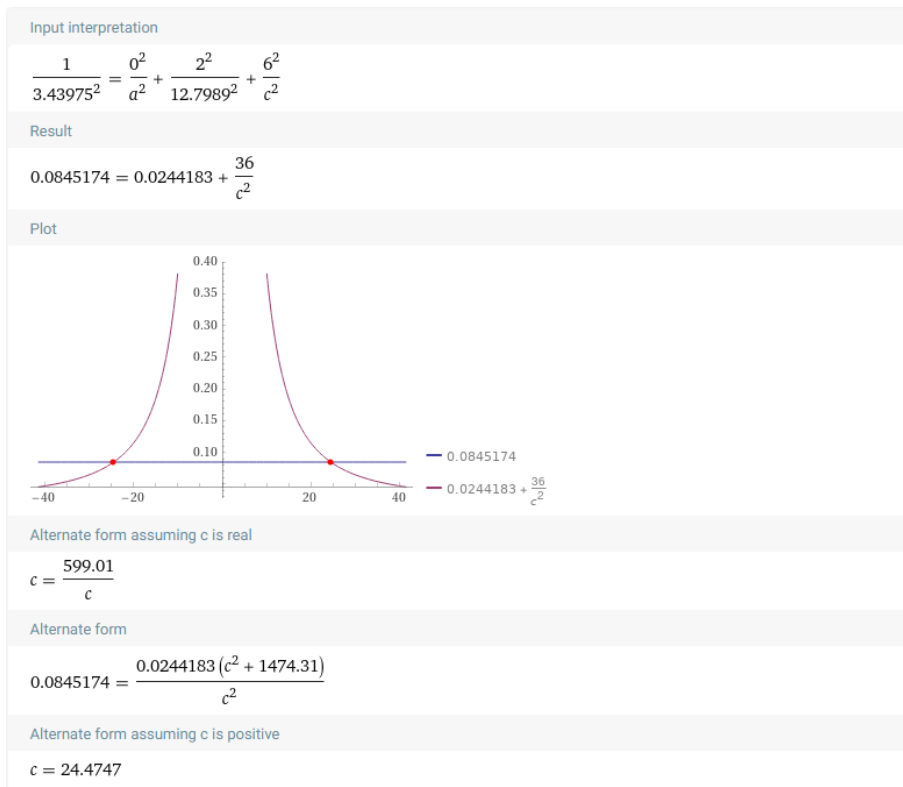
Alternate form

$$0.0681654 = \frac{0.0310959(a^2 + 128.634)}{a^2}$$

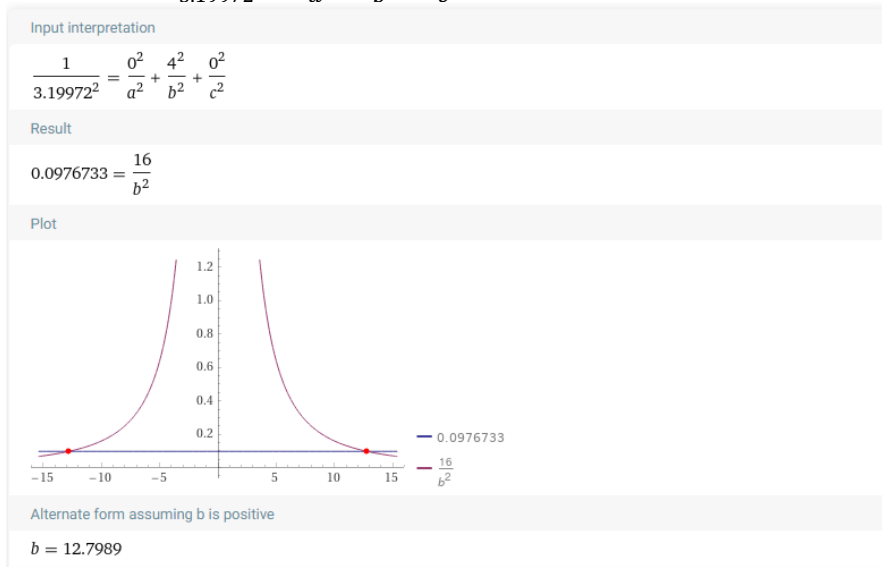
Alternate form assuming a is positive

$a = 10.3878$ (for $a \neq 0$)

Titik Kedua: $\frac{1}{3.43975^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.7989^2} + \frac{6^2}{c^2}$



Titik Ketiga: $\frac{1}{3.19972^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$



Parameter Kisi S/MnO₂/PANI 8:2:

Titik Pertama: $\frac{1}{3.836389^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8472^2} + \frac{2^2}{24.4263^2}$

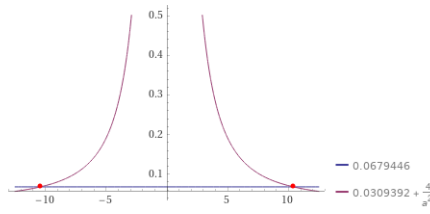
Input interpretation

$$\frac{1}{3.836389^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8472^2} + \frac{2^2}{24.4263^2}$$

Result

$$0.0679446 = 0.0309392 + \frac{4}{a^2}$$

Plot



Alternate form assuming a is real

$$a = \frac{108.092}{a}$$

Alternate form

$$0.0679446 = \frac{0.0309392(a^2 + 129.286)}{a^2}$$

Alternate form assuming a is positive

$$a = 10.3967 \quad (\text{for } a \neq 0)$$

Titik Kedua: $\frac{1}{3.43863^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8472^2} + \frac{6^2}{c^2}$

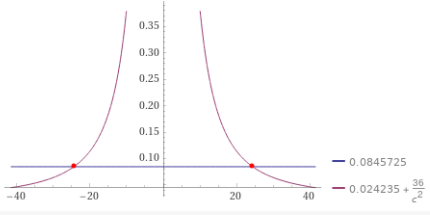
Input interpretation

$$\frac{1}{3.43863^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8472^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0845725 = 0.024235 + \frac{36}{c^2}$$

Plot



Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{596.644}{c}$$

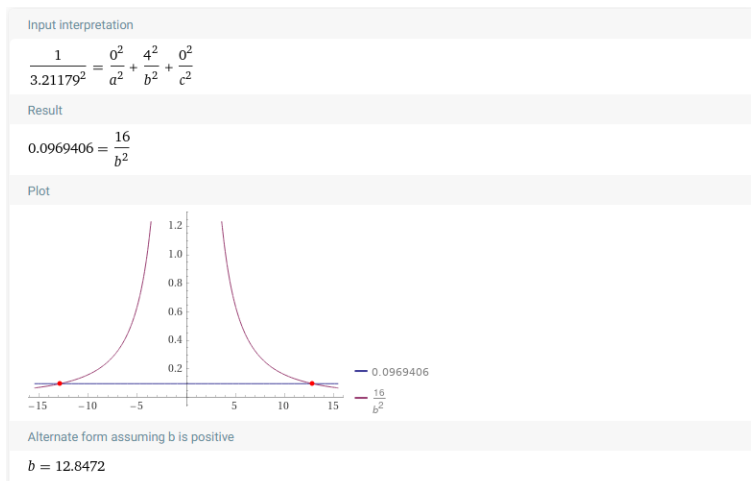
Alternate form

$$0.0845725 = \frac{0.024235(c^2 + 1485.45)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

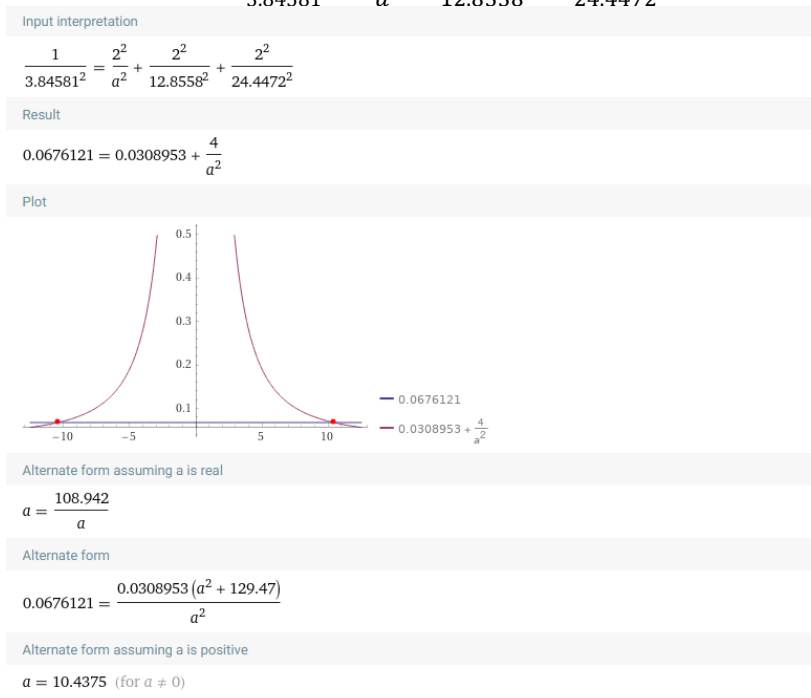
$$c = 24.4263$$

Titik Ketiga: $\frac{1}{3.21179^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$



Parameter Kisi S/MnO₂/PANI 7:3:

Titik Pertama: $\frac{1}{3.84581^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8558^2} + \frac{2^2}{24.4472^2}$



Titik Kedua: $\frac{1}{3.44139^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8558^2} + \frac{6^2}{c^2}$

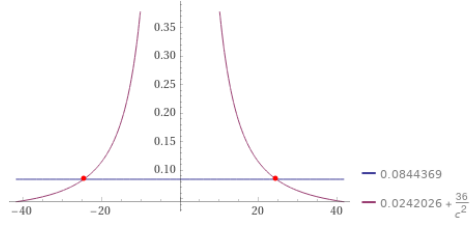
Input interpretation

$$\frac{1}{3.44139^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8558^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0844369 = 0.0242026 + \frac{36}{c^2}$$

Plot



Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{597.666}{c}$$

Alternate form

$$0.0844369 = \frac{0.0242026(c^2 + 1487.44)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

$$c = 24.4472$$

itik Ketiga: $\frac{1}{3.21396^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

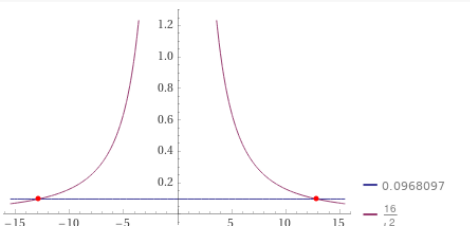
Input interpretation

$$\frac{1}{3.21396^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

Result

$$0.0968097 = \frac{16}{b^2}$$

Plot



Alternate form assuming b is positive

$$b = 12.8558$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih dalam selama masa perkuliahan dan pengerjaan laporan tugas akhir telah mendapat bantuan baik berupa finansial dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih sebesar – besarnya kepada pihak yang telah membantu, ucapan terimakasih diucapkan untuk:

1. Bapak Agus Purwanto dan Ibu Kispinarsih selaku kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memotivasi untuk selalu semangat dalam perkuliahan serta tugas akhir.
2. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng.), Ph.D. dan Bapak Haniffudin S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa membimbing dan membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Eri Cahyadi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. (H.C.) Ir. Tri Rismaharini, M.T. selaku pemberi Beasiswa Generasi Emas yang sekarang menjadi Besmart selama masa perkuliahan.
4. *Elemenesia Foundation* selaku pemberi beasiswa selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Tim Bismillah Cuan Rikza Octavian dan Risa Wahyu dalam berbagai kemenangan perlombaan selama masa perkuliahan.
6. Tim Raket *Nosecone* Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si., Wafiq, Sherly, Adzon, Nurin, Izul, Sugiarto, Ninik dan Afrizal, yang telah memberi pengalaman kerja tentang *coating* roket.
7. Tim Antasena Bhismo, Fahmi, Zafi, Husnul, Pungky dan Angga selama masa riset mobil *hydrogen* dan perlombaan *Shell Echo Marathon*.
8. Tim STRD Antasena Humai, Mikael Dityo, Wildan Abyan dan Deden Eko telah membantu di divisi STRD.
9. Tim Baterai Salam, Farid, Mila, Elsa dan Shofi selama pengerjaan tugas akhir.
10. Kos Family Yuslam, Darel, Hanif dan Syarif sebagai pasukan suporter HMMT.
11. Hafsah Miftachul, Muhammad Fatih, dan Devi Tri Rahayu selaku saudara yang selalu mendukung selama pengerjaan tugas akhir.
12. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga buku tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua yang membutuhkan terkait baterai maupun tentang penyimpanan energi.

Surabaya, 27 Juni 2022



Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis Bernama lengkap Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam dilahirkan di kota Surabaya. Penulis sedang menempuh Pendidikan pada semester 8 di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS dengan IPK 3.63 dari 4.00. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi, menjadi Manajer Riset Sains dan Teknologi pada Tim Antasena ITS tentang mobil bertenaga *hydrogen*. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Sumiden Serasi Wire Product. Penulis pernah menjadi asisten riset tentang rekayasa permukaan pada *Nosecone* Roket Sonde 2 Tingkat dengan Pusat Teknologi Roket (BRIN), Indonesia. Penulis juga mempunyai prestasi yaitu Juara 1 pada Simposium Tiongkok 2021 tentang generator biohidrogen, Juara 2 pada INPC, ITERA Sumatra Utara 2021 dan *Gold Medal pada World Interational Technology and Expo* 2021. Penulis juga mempunyai publikasi jurnal berjudul Antasena Biohidrogen: Generator Berbasis Limbah Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Kerja Sama Indonesia-Tiongkok di bidang *Renewable Energy* (Sinta 4). Penulis sekarang sedang melakukan penelitian tentang Baterai *Lithium-Sulfur* untuk tugas akhir, dikarenakan kebutuhan akan baterai akan meningkat untuk menyambut kendaraan listrik dengan memanfaatkan potensi sulfur dan logam *lithium* yang banyak terdapat di Indonesia.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)