

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA
ACETYLIN BLACK DENGAN *BINDER* PVA DAN PVDF
PADA PERFORMA ELEKTROKIMIA KATODA
SULFUR/MNO₂**

RIKZA OCTAVIAN PRATAMA
NRP. 02511840000050

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, S.T, M.Sc(Eng)., Ph.D.
NIP. 197713032003121001
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
NIP. 198902132020122016

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



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA
ACETYLENE BLACK DENGAN *BINDER* PVA DAN PVDF
PADA PERFORMA ELEKTROKIMIA KATODA
SULFUR/MnO₂**

RIKZA OCTAVIAN PRATAMA
NRP. 02511840000050

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, S.T, M.Sc(Eng)., Ph.D.
NIP. 197713032003121001
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
NIP. 198902132020122016

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF MASS COMPARISON
VARIATION OF ACETYLENE BLACK WITH PVA AND
PVDF BINDER ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE
OF SULFUR/MnO₂ CATHODES***

RIKZA OCTAVIAN PRATAMA
NRP. 02511840000050

Advisor

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

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.
NIP. 198902132020122016

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

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA *ACETYLENE BLACK* DENGAN *BINDER* PVA DAN PVDF PADA PERFORMA ELEKTROKIMA KATODA SULFUR/MNO₂

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 : **RIKZA OCTAVIAN PRATAMA**
NRP. 0251184000050

(tidak mendapat persetujuan dan menyetujui)

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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



Pembimbing
[Signature]
Ko-Pembimbing
[Signature]
Penguji
[Signature]
Penguji
[Signature]

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE EFFECT OF MASS COMPARISON VARIATION OF ACETYLENE BLACK WITH PVA AND PVDF BINDER ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF SULFUR/MnO₂ CATHODES

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 : **RIKZA OCTAVIAN PRATAMA**
NRP. 0251184000050

(Jumlah dan nama dosen pembimbing)

Approved by Final Project Examiner Team :

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



Advisor
Co-Advisor
Examiner
Examiner

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama mahasiswa/NRP : Rikza Octavian Pratama/0251184000050
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Lukman Noerochim, S.T, M.Sc, Ph.D/197713032003121001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA *ACETYLENE BLACK* DENGAN *BINDER* PVA DAN PVDF PADA PERFORMA ELEKTROKIMA KATODA SULFUR/MNO₂" 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, 20 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing


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

Mahasiswa


(Rikza Octavian Pratama)
NRP. 0251184000050

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

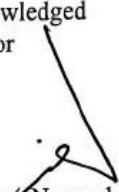
Name of student/NRP : Rikza Octavian Pratama/02511840000050
Departement : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Lukman Noerochim, S.T, M.Sc, Ph.D/197713032003121001

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE EFFECT OF MASS COMPARISON VARIATION OF ACETYLENE BLACK WITH PVA AND PVDF BINDER ON ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF SULFUR/MnO₂ CATHODES" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 20th 2022

Acknowledged
Advisor


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

Student


(Rikza Octavian Pratama)
NRP. 02511840000050

Acknowledged

Surabaya, July 20th 2022

(This page is intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA *ACETYLENE BLACK*
DENGAN *BINDER* PVA DAN PVDF PADA PERFORMA ELEKTROKIMIA
KATODA SULFUR/MNO₂**

Nama Mahasiswa / NRP: Rikza Octavian Pratama/0251184000050
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Lukman Noerochim, S.T, M.Sc, Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstrak

Pemerintah mendorong konversi dari kendaraan berbahan bakar minyak menjadi listrik untuk mengurangi efek gas rumah kaca. Salah satu tindakannya adalah pengembangan baterai lithium. Salah satunya Lithium-Sulfur (Li-S) karena memiliki kelebihan yaitu densitasnya yang tinggi 2600 Wh/Kg. Li-S juga memiliki kelemahan yaitu baterai ini cenderung tidak stabil performa elektrokimia-nya ketika mencapai siklus yang tinggi karena terjadi pembentukan polisulfida, sehingga dibutuhkan material tambahan agar dapat mengurangi pembentukan polisulfida. Sehingga pada penelitian ini sulfur ditambahkan dengan MnO₂, *Acetylene Black* (AB), dan diberikan material pengikat PVA atau PVDF agar dapat meningkatkan kemampuan baterai pada siklus yang tinggi dan mengurangi pembentukan polisulfida. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performa elektrokimia akibat pengaruh penggunaan PVA dan PVDF terhadap pelapisan AB pada katoda S/MnO₂ dengan variasi berat S/MnO₂:material pengikat:AB (9:0,5:0,5 dan 8:1:1). Proses pertama yaitu melarutkan S/MnO₂, PVA/PVDF, CB pada NMP lalu diaduk selama 24 jam dengan kecepatan 480rpm dan temperatur 60°C. Kemudian dilapiskan pada alumunium foil dan dioven 24 jam 60°C, sehingga S/MnO₂ penambahan PVA atau PVDF dapat dianalisis performa elektrokimianya dengan pengujian *Electrochemical Impedance*, *Cyclic Voltammetry*, dan *Galvanostatic Charge Discharge*. Pengujian karakterisasi material berupa *X-Ray Diffraction*, *Scanning electron Microscope*, dan *Fourier Transform Infra Red*. Hasil analisis menunjukkan penggunaan jenis *binder* PVA lebih baik daripada PVDF dalam mengatasi degradasi kapasitas tiap siklusnya. S/MnO₂:PVA:AB dengan perbandingan massa (80%:10%:10%) memiliki persentase degradasi yang paling rendah sebesar 5,388%. Hal ini disebabkan PVA dapat mengikat sulfida yang dihasiterbentuk dari reaksi yang terjadi. Untuk kapasitas terbesar dimiliki oleh variasi S/MnO₂:PVA:AB (90%:5%:5%) sebesar 340 mAh.g⁻¹. Hal ini disebabkan variasi ini memiliki presentase massa material aktif katoda yaitu sulfur yang lebih banyak. Dari pengujian yang dilakukan PVA memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mengikat sulfida dan persentase massa yang digunakan untuk pembuatan katoda mempengaruhi dari besar kecilnya kapasitas yang dimiliki oleh baterai tersebut.

Kata Kunci: *Lithium-Sulfur, PVA, PVDF, Polisulfida, Acetylene Black*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF COMPARATIVE VARIATIONS OF ACETYLENE BLACK MASS WITH PVA AND PVDF BINDERS ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF SULFUR/MNO₂ CATHODES

Student Name / NRP : Rikza Octavian Pratama/0251184000050
Departement : Materials and Metallurgical Engineering ITS
Advisor : Lukman Noerochim, S.T, M.Sc, Ph.D.
Co-Advisor : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstract

The government encourages the conversion of oil-fueled vehicles to electricity to reduce the effects of greenhouse gases. One of the actions is the development of lithium batteries. One of them is Lithium-Sulfur (Li-S) which has a high density of 2600 Wh/Kg. However, Li-S has a weakness that this battery tends to be unstable in its electrochemical performance when it reaches a high cycle, polysulfide formation occurs. In this study, sulfur was coated with MnO₂ to increase efficiency. Furthermore, PVA and PVDF materials are given which aim to bind Acetylene Black (AB) and the active material. The purpose of this study was to analyze the electrochemical performance due to the effect of using PVA and PVDF on the AB coating on the S/MnO₂ cathode with weight variations of S/MnO₂:binder:AB (9:0,5:0,5 and 8:1:1) . The first process is to dissolve S/MnO₂, PVA/PVDF, CB in NMP then stirred for 24 hours at a speed of 480rpm and a temperature of 60°C. Then coated on aluminum foil and oven 24 hours 60°C, so that the addition of PVA or PVDF S/MnO₂ can be analyzed for electrochemical performance by testing Electrochemical Impedance, Cyclic Voltammetry, and Galvanostatic Charge Discharge. Material characterization tests in the form of X-Ray Diffraction, Scanning electron Microscope, and Fourier Transform Infra Red. The results of the analysis show that the use of PVA binder is better than PVDF in overcoming capacity degradation in each cycle. S/MnO₂:PVA:AB with mass ratio (80%: 10%:10%) has the lowest degradation percentage of 5.388%. This is because PVA can bind to the sulfide produced from the reaction that occurs. For the largest capacity, the variation of S/MnO₂:PVA:AB (90%:5%:5%) is 340 mAh.g⁻¹. This is because this variation has a higher percentage of the mass of the cathode active material, namely sulfur. From the tests conducted, PVA has a better ability to bind sulfides and the percentage of mass used for the manufacture of cathodes affects the size of the capacity of the battery.

Keywords: *Lithium-Sulfur, PVA, PVDF, Polysulfide, Acetylene Black*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, "ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA *ACETYLENE BLACK* DENGAN *BINDER* PVA DAN PVDF PADA PERFORMA ELEKTROKIMIA KATODA SULFUR/MNO₂". terselesaikannya 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 Ibu Vania Mitha Pratiwi, 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 FT-IRS ITS
3. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 20 Juli 2022

Penulis



Rikza Octavian Pratama

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
1 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Baterai	3
2.2 Baterai Lithium	4
2.3 Baterai Lithium Sulfur	5
2.4 Mangan Dioksida	7
2.5 <i>Binder</i> PVDF dan PVA	9
2.6 <i>Acetylene Black</i>	10
2.7 Penelitian Sebelumnya	10
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Diagram Alir	13
3.2 Bahan Penelitian	14
3.3 Alat yang Digunakan Penelitian	21
3.4 Metode Penelitian	26
3.5 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopi</i> (SEM)	27
3.6 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	28
3.7 Pengujian FTIR	29
3.8 Pengujian GCD	30
3.9 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	30
3.10 Rancangan Penelitian	31
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil Pengujian dan Analisis Karakterisasi	35
4.2 Hasil Pengujian Performa Elektrokimia	42
bab v kesimpulan dan saran	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	53
UCAPAN TERIMA KASIH	77
BIODATA PENULIS	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara Kerja Baterai sederhana(Winter & Brodd, 2004).....	3
Gambar 2. 2 Proses <i>charge-discharge</i> (Winter & Brodd, 2004)	4
Gambar 2. 3 Skema kerja baterai <i>lithium oxygen</i> (Sundén, 2019b).....	5
Gambar 2. 4 Skema <i>charge-discharge</i> baterai Li-S(Doñoro et al., 2019).....	6
Gambar 2. 5 Diagram siklus tegangan (<i>voltage</i>) pertama pada sel Li-S selama proses <i>charge/discharge</i> (Zhang, 2013)	7
Gambar 2. 6 Struktur dan morfologi <i>pyrollusite</i> (Y. Sun et al., 2014)	8
Gambar 2. 7 Struktur dan morfologi <i>hollandite</i> (Y. Sun et al., 2014).....	8
Gambar 2. 8 Bentuk struktur dan morfologi <i>birnessite</i> (Qin et al., 2019; Y. Sun et al., 2014).....	9
Gambar 2. 9 Struktur molekul polimer PVDF (S. Liu et al., 2019).....	9
Gambar 2. 10 Struktur molekul PVA (He & Zhang, 2018).....	10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengujian Karakterisasi Katoda 13	
Gambar 3. 2 Diagram alir pengujian Elektrokimia.....	14
Gambar 3. 3 Sulfur 325 mesh	14
Gambar 3. 4 KMnO ₄	15
Gambar 3. 5 <i>Deionized water</i>	15
Gambar 3. 6 Toluena.....	16
Gambar 3. 7 Kertas filter.....	16
Gambar 3. 8 <i>Polyvinyl Alcohol</i>	17
Gambar 3. 9 Polyvinylidene Fluoride (PVDF)	17
Gambar 3. 10 <i>Acetylene Black</i>	18
Gambar 3. 11 N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP)	18
Gambar 3. 12 Separator Baterai Lithium Sulfur	19
Gambar 3. 13 Elektrolit LiTFSi Baterai Lithium-Sulfur	19
Gambar 3. 14 Lithium Metal.....	20
Gambar 3. 15 Aluminium Foil.....	20
Gambar 3. 16 Lithium Coin Cell	20
Gambar 3. 17 Gas Argon	21
Gambar 3. 18 Neraca Analitik	21
Gambar 3. 19 Kaca Arloji.....	22
Gambar 3. 20 Gelas Beaker	22
Gambar 3. 21 Ultrasonic Cleaner.....	22
Gambar 3. 22 Gelas Labu	23
Gambar 3. 23 Gelas Corong.....	23
Gambar 3. 24 <i>Hot Plate Magnetic Stirrer</i>	24
Gambar 3. 25 Oven	24
Gambar 3. 26 Glove Box Laboratorium Korosi	24
Gambar 3. 27 X-Ray Diffraction	25
Gambar 3. 28 Scanning Electron Microscope (SEM).....	25
Gambar 3. 29 FTIR	26
Gambar 3. 30 <i>Galvanostatic Charge-Discharge</i>	26
Gambar 3. 31 Alat Pengujian CV dan EIS.....	26
Gambar 3. 32 Skema Alat Uji SEM.....	28
Gambar 3. 33 Skema alat uji XRD	29
Gambar 3. 34 Skema alat uji FTIR	29
Gambar 3. 35 Grafik pengujian GCD Li-S	30
Gambar 3. 36 Grafik pengujian EIS Li-S (jurnal Gambar).....	31

Gambar 3. 37	Grafik hasil pengujian CV Li-S.....	31
Gambar 3. 38	Skema alat <i>magnetic stirrer</i>	32
Gambar 3. 39	Skema pengeringan katoda dengan oven.....	32
Gambar 3. 40	Skema Pembuatan Katoda.....	32
Gambar 3. 41	Skema perakitan baterai <i>coin cell</i> litium-sulfur.....	32
Gambar 4. 1	Hasil XRD	35
Gambar 4. 2	Hasil pengujian FTIR A) PVA murni dan B) PVDF murni.....	38
Gambar 4. 3	Hasil pengujian FTIR sampel dengan variasi A) PVA:AB (5%:5%) dan B) PVA:AB (10%:10%).....	38
Gambar 4. 4	Hasil pengujian FTIR sampel A) PVDF:AB (5%:5%) dan B) PVDF:AB (10%:10%)	39
Gambar 4. 5	Hasil pengujian sampel dengan variasi A) PVA:AB (10%:10%) dan B)PVA:AB (5%:5%).....	40
Gambar 4. 6	Hasil pengujian sampel dengan variasi (A) PVDF:AB (10%:10%) dan (B) PVDF:AB (5%:5%).....	41
Gambar 4. 7	Kurva CV (A) S/MnO ₂ :PVA:AB (90%:5%:5%), (B) S/MnO ₂ :PVA:AB (80%:10%:10%), (C) S/MnO ₂ :PVDF:AB (90%:5%:5%), (D) S/MnO ₂ :PVDF:AB (80%:10%:10%).....	42
Gambar 4. 8	Grafik pengujian EIS dengan variasi (A) S/MnO ₂ :PVA:AB (90%:5%:5%), (B) S/MnO ₂ :PVA:AB (80%:10%:10%), (C) S/MnO ₂ :PVDF:AB (90%:5%:5%), (D) S/MnO ₂ :PVDF:AB (80%:10%:10%).....	44
Gambar 4. 9	Grafik pengujian GCD dengan variasi (A) S/MnO ₂ :PVA:AB (90%:5%:5%), (B) S/MnO ₂ :PVA:AB (80%:10%:10%), (C) S/MnO ₂ :PVDF:AB (90%:5%:5%), (D) S/MnO ₂ :PVDF:AB (80%:10%:10%).....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian.....	33
Tabel 4. 1 Ukuran kristalit sulfur dengan variasi PVA/PVDF dan <i>Acetyline Black</i>	36
Tabel 4. 2 Perhitungan parameter kisi S/MnO ₂ /PVA/AB dan S/MnO ₂ /PVDF/AB	36
Tabel 4. 3 Referensi data spectrum PVA (Bhat et al., 2005).....	37
Tabel 4. 4 Referensi data spectrum PVDF (Dong et al., 2016)	37
Tabel 4. 5 Puncak oksidasi-reduksi dan jarak oksidasi-reduksi	43
Tabel 4. 6 Perbandingan nilai R_s dan R_{ct} tiap variasi	45
Tabel 4. 7 Perhitungan presentase degradasi baterai tiap variasi	46
Tabel 4. 8 Perhitungan rata-rata efisiensi kolombik	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dasawarsa akhir ini konsumsi energi semakin meningkat setiap tahunnya, khususnya warga Indonesia. Pertumbuhan penduduk, ekonomi, dan industri menjadi pendorong peningkatan kebutuhan energi listrik. Peningkatan permintaan energi menyebabkan beberapa dampak negatif pada lingkungan salah satunya adanya efek gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan pemanasan global. Terlebih dalam menunjang kegiatan sehari-hari masyarakat Indonesia masih ketergantungan bahan bakar fosil untuk menunjang aktivitas sehari-hari. Eksploitasi dan penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia cukup tinggi untuk pemenuhan energi nasional, terutama untuk bidang pembangkit energi listrik.

Pemerintah Indonesia berupaya untuk mengatasi perubahan iklim dengan mengesahkannya Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2017 sesuai komitmen pada *Paris Agreement the United Nation Framework Convention on Climate Change*. Komitmen ini bertujuan untuk menjaga kenaikan suhu global dibawah 2°C (Sunarti et al., 2020). Emisi GRK Indonesia pada sektor energi Tahun 2019 mencapai 638.452 Giga gram CO₂e. Persentase emisi terbesar berturut-turut adalah sektor industri produsen energi (43,83%), transportasi (24,64%), industri manufaktur dan konstruksi (21,46%), dan sektor lainnya (4,13%)(Sunarti et al., 2020). Pemerintah berupaya untuk mengurangi polusi dengan kendaraan berbahan bakar minyak digantikan oleh motor listrik. Hal ini telah diatur pada Peraturan Presiden nomor 55 tahun 2019 mengenai perpindahan dari kendaraan berbahan bakar minyak menjadi kendaraan listrik sebagai alternatif transportasi yang lebih ramah lingkungan. Hal ini disebabkan kendaraan listrik tidak menggunakan bahan bakar minyak dan mampu mendorong program pemerintah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030(Sunarti et al., 2020).

Roadmap pengembangan baterai litium juga dikembangkan seiring berkembangnya kendaraan listrik di Indonesia. Litium Sulfur (Li-S) merupakan salah satu jenis baterai litium. Jenis ini memiliki potensi untuk dikembangkan karena memiliki kepadatan energi yang cukup besar mencapai 2.600 Wh/kg, akan tetapi sulfur memiliki konduktivitas yang rendah(Baskoro Farid et al., 2021). Selain itu baterai Li-S cenderung tidak stabil ketika mencapai siklus yang tinggi, hal ini disebabkan oleh pembentukan polisulfida Li₂S₂ dan Li₂S yang tidak dapat larut(Juračka et al., 2015). Untuk meningkatkan konduktivitas, maka baterai Li-S ditambahkan *acetylene black* pada elektroda sulfur. Material PVDF ditambahkan sebagai bahan pengikat, selain untuk mengikat PVDF dapat meningkatkan kemampuan *charge-discharge* dengan siklus yang lebih tinggi karena memiliki sifat piezoelektrik(Choi et al., 2008).

Disisi lain kemampuan PVDF mengikat polisulfida tidak sebaik PVA, sehingga penurunan performa baterai tiap siklusnya masih terlalu tinggi(J. Liu et al., 2018). Maka diperlukannya material pengikat lain seperti PVA yang dapat mengikat polisulfida(Liao et al., 2020). Oleh karena itu pada penelitian kali ini dilakukan variasi pelapisan *carbon black* dengan dua material pengikat yang berbeda PVA dan PVDF agar mengetahui material pengikat yang lebih efektif.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana meningkatkan performa elektrokimia katoda S/MnO₂ dengan penambahan *Acetylene Black* dan PVA atau PVDF sebagai material pengikatnya. Maka dalam penelitian ini digunakan variasi massa *Acetylene Black* sebagai zat yang konduktif dan penggunaan PVA atau PVDF sebagai material pengikat

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini agar hasil akhir yang didapatkan tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, antara lain:

1. Bahan yang digunakan diasumsikan tidak mengandung zat pengotor
2. Massa yang berkurang akibat sintesis katoda dan filtrasi diabaikan
3. Material yang digunakan diasumsikan dalam keadaan baik semua.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performa elektrokimia baterai lithium sulfur akibat pengaruh perbandingan massa *Acetylene Black* dengan binder PVA dan PVDF pada katoda Sulfur/MnO₂.

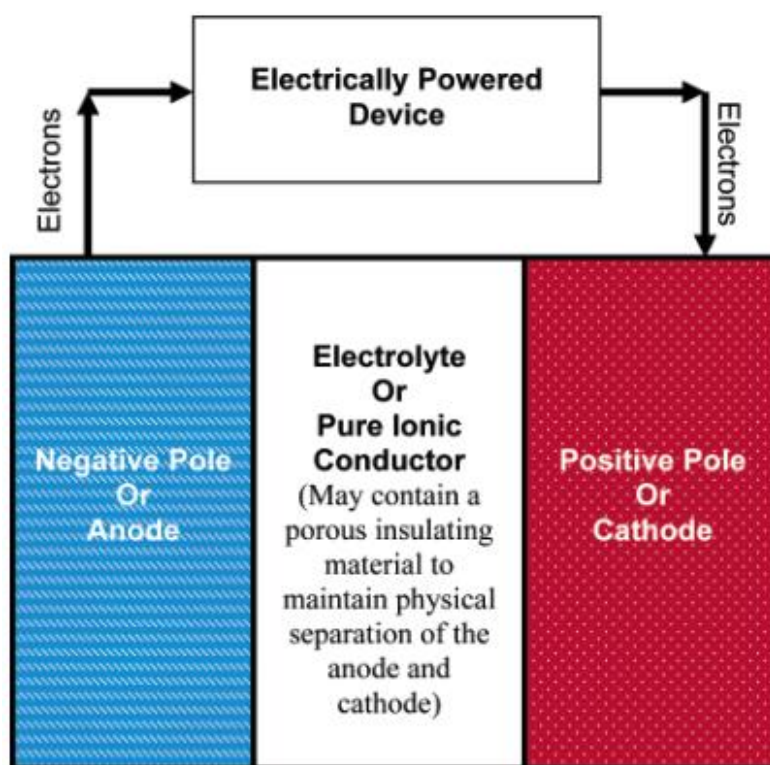
1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi empiris mengenai efektivitas *Acetylene Black* dengan material pengikat yang berbeda yaitu PVA dan PVDF terhadap performa elektrokimia baterai litium sulfur/MnO₂

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

Baterai merupakan alat atau perangkat yang mengubah unsur kimia yang terkandung didalamnya menjadi energi listrik, zat kimia tersebut secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi oksidasi-reduksi (redoks) elektrokimia. Cara kerja baterai secara sederhana yaitu elektron bergerak dari kutub negatif (anoda) menuju kutub positif (katoda). Gambar 2.1 menggambarkan elemen skema kerja sederhana pada baterai, dalam hal ini elektroda negatif merupakan zat pereduksi yang baik (donor elektron) pada umumnya anoda terdiri dari litium, seng, atau timbal. Elektroda positif berfungsi sebagai akseptor elektron pada umumnya terbuat dari lithium cobalt oxide, mangan dioksida, atau timbal oksida. Elektrolit merupakan konduktor ionik murni yang secara fisik berguna untuk memisahkan anoda dari katoda (Winter & Brodd, 2004).

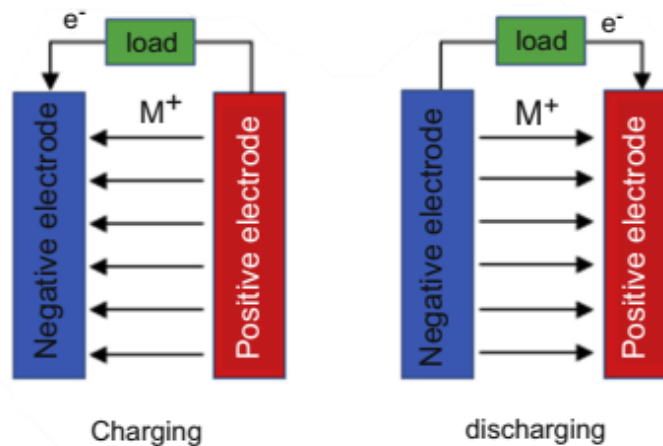


Gambar 2. 1 Cara Kerja Baterai sederhana (Winter & Brodd, 2004)

Dalam pembuatan baterai bahan isolasi listrik berpori (*separator*) yang mengandung elektrolit ditempatkan antara katoda dan anoda. Hal ini untuk mencegah keduanya bersentuhan secara langsung yang dapat menyebabkan korsleting pada baterai. Jika terjadi korsleting, maka energi listrik yang berada didalam akan berubah menjadi kalor atau panas (Winter & Brodd, 2004).

Elektroda yang mengalami oksidasi disebut anoda atau elektroda negatif. Anion akan bergerak melalui elektrolit menuju elektroda positif sementara elektron akan bergerak melewati sirkuit eksternal untuk mencapai elektroda positif. Pada elektroda positif kemudian terjadi proses reduksi dengan masuknya anion dan elektron. Selama proses pengisian (*Charge*), terjadi

proses kebalikannya dari *discharge* sehingga elektroda positif akan menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda(Sunden, 2019).



Gambar 2. 2 Proses *charge-discharge*(Winter & Brodd, 2004)

Dalam aplikasinya baterai memiliki beberapa kategori yang dibedakan sesuai kebutuhannya:

- Baterai primer yang pada umumnya hanya sekali pakai, ketika habis maka akan dibuang
- 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(Winter & Brodd, 2004)

2.2 Baterai Lithium

2.2.1 Litium Metal

Baterai ini memiliki suhu kerja antara 80° dan 120° C dan memiliki potensi untuk digunakan pada kendaraan listrik. Pada baterai jenis ini litium logam akan menjadi elektroda negatif, elektroda positif terdiri dari basis lithium dengan material tambahan, serta elektrolitnya berbasis polimer. Anoda yang berbahan dasar litium logam memungkinkan sel untuk dirakit dalam keadaan terisi atau kosong(Sundén, 2019a).

2.2.2 Litium Ion

Baterai lithium-ion dikembangkan untuk mengatasi beberapa masalah keamanan yang ada pada baterai lithium-logam. Namun, li-ion memiliki kepadatan energi yang lebih kecil dibandingkan dengan baterai lithium-logam. Pada baterai li-ion anoda terbuat dengan berbasis karbon dalam bentuk grafit atau padatan karbon. Sedangkan, anoda harus mengandung litium dan umumnya terdapat bahan tambahan yang memungkinkan. Pada umumnya bahan tambahan yang digunakan harus mengandung oksida logam transisi dimana logamnya adalah Co, Ni, Fe atau Mn. Elektrolit dalam baterai lithium-ion adalah garam lithium yang dilarutkan dalam pelarut organik(Sundén, 2019a).

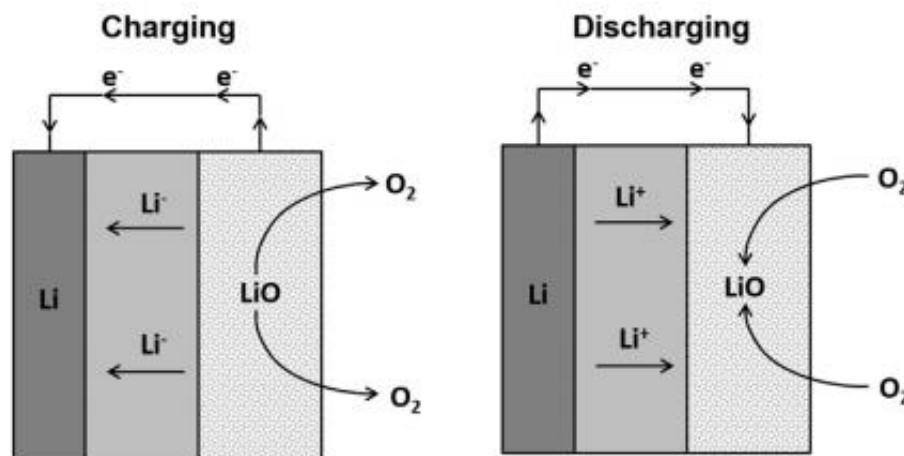
2.2.3 Litium Ion-Polimer

Dalam baterai polimer lithium-ion (LiPo), elektrolit adalah berupa matriks polimer pada umumnya memiliki bentuk gel. Elektrolit yang berbentuk padat dan tidak mengandung cairan akan membuat baterai ini lebih stabil sehingga tidak terlalu rentan terhadap masalah pengisian daya yang berlebihan, kerusakan, atau penyalahgunaan. Namun, elektrolit ini tidak bisa dimanufaktur dengan bentuk yang tipis seperti konsep baterai lithium-ion. Oleh karena itu,

baterai ini memiliki tingkat efektifitas ikatan luas permukaan dengan elektroda yang rendah sehingga memiliki kapasitas daya terbatas(Sundén, 2019a).

2.2.4 Litium-Oksigen

Baterai lithium-udara memiliki sistem kerja berbasis oksidasi lithium pada elektroda negatif dan reduksi oksigen (umumnya dari udara) pada elektroda positif. Katoda biasanya terdiri dari karbon mesopori dengan katalis logam sebagai bahan inang untuk oksigen. Anoda pada baterai ini umumnya terdiri dari lithium logam. Terdapat empat jenis elektrolit yang umumnya digunakan, yaitu aprotik, berair, *solid state*, dan campuran berair-aprotik(Sundén, 2019a).



Gambar 2. 3 Skema kerja baterai *lithium oxygen*(Sundén, 2019b)

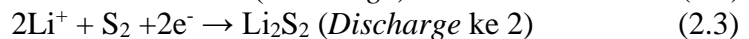
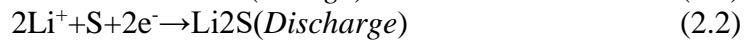
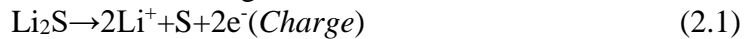
2.2.5 Lithium Sulfur

Dalam sel baterai lithium-sulfur, lithium metalik digunakan sebagai elektroda negatif sedangkan elektroda positif adalah belerang. Karena sulfur memiliki sifat konduktor yang buruk terhadap elektron, maka matriks karbon biasanya digunakan sebagai basis membentuk elektroda positif. Elektrolit yang digunakan pada umumnya seperti elektrolit cair organik tidak berair, elektrolit berbasis cairan ionik dan elektrolit tidak cair(Sundén, 2019a).

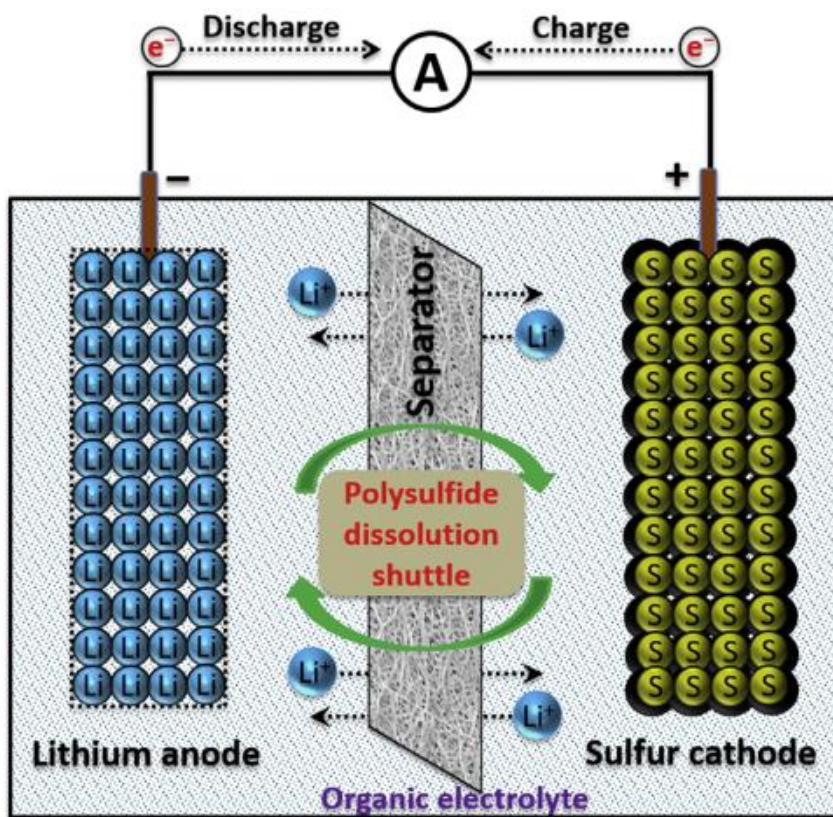
2.2.1 Baterai Lithium Sulfur

Elektroda sulfur pada baterai lithium-sulfur pada umumnya mengandung senyawa atau unsur paduan yang konduktif seperti karbon. Hal ini memungkinkan terjadinya reaksi elektrokimia, dikarenakan sulfur dan produk *discharge* (Li_2S) adalah isolator(Zhang, 2013a). Baterai lithium-sulfur memiliki kepadatan energi yang tinggi mencapai 2600 Wh/kg sehingga termasuk salah satu perangkat penyimpanan energi sehingga menjadikan nilai tambah(Yang et al., 2019)(K. Sun et al., 2018). Kepadatan energi yang tinggi pada baterai Li-S disebabkan oleh katoda sulfur memiliki kapasitas teoretis mencapai 1672 mA h g^{-1} dan anoda litium-logam yang memiliki kapasitas tinggi 3860 mA h g^{-1} . Selama terjadinya *discharge*, ion Li^+ terbentuk di anoda (lithium-logam) dan bergerak melalui elektrolit ke katoda (Sulfur), sedangkan elektron akan mengalir melalui sirkuit eksternal, menghasilkan Li_2S sebagai produk pelepasan akhir di katoda(Manthiram et al., 2015). Proses *charge-discharge* pada baterai Li-S berbeda dengan li-ion. Pada baterai Li-ion elektroda akan mengalami perubahan struktur kristal selama proses *charge-discharge*. Sedangkan, pada baterai Li-S katoda yang berupa sulfur akan mengalami reaksi konversi menjadi lithium sulfida dan pada anoda terjadi reaksi *dissolution-deposition* lithium(Doñoro et al., 2019).

Reaksi *charge-discharge* pada baterai Li-S sebagai berikut.



Secara sederhana skema *charge-discharge* baterai lithium sulfur ditunjukkan pada gambar 2.4



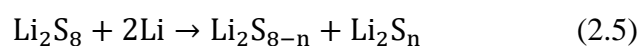
Gambar 2. 4 Skema *charge-discharge* baterai Li-S (Doñoro et al., 2019)

2.3.1 Karakteristik Tegangan Pada Li-S

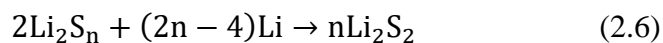
- Pada tahap awal yaitu fasa *solid-liquid* (Dual fasa) dari sulfur direduksi menjadi Li_2S_8 , hal ini terdapat pada bagian puncak dengan rentang voltase antara 2.2-2.3 V. Li_2S_8 yang larut dalam cairan elektrolit akan menjadi katoda. Pada tahap ini akan membuat banyak celah di katoda. Reaksi yang terbentuk pada bagian I adalah



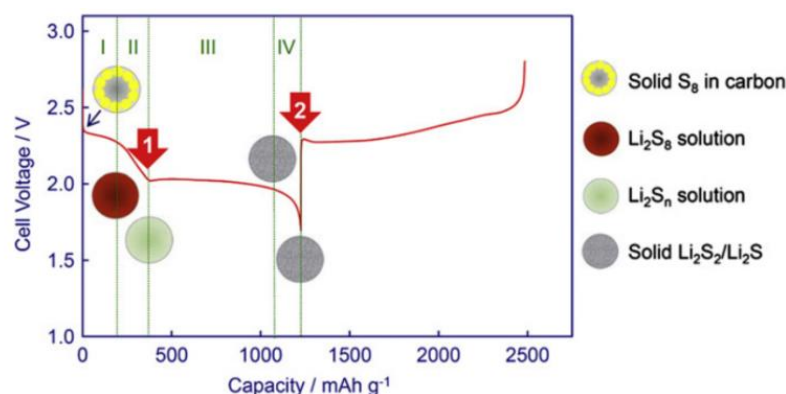
- Pada tahap kedua terjadi reduksi *liquid-liquid* (Satu fasa) dari larutan Li_2S_8 menjadi polisulfida (PS), yang mana pada proses ini voltase sel akan menurun drastis dan viskositas larutan akan meningkat secara bertahap dengan diimbangi pengurangan panjang rantai S-S serta peningkatan konsentrasi anion PS. Viskositas akan mencapai nilai maksimumnya di ujung daerah pelepasan ketika grafik mencapai akhir bagian II dengan voltage 2.2-2.0 V.



- Pada tahap ketiga terjadi reduksi *liquid-solid* (Dual Fasa) dari larutan polisulfida menjadi *insoluble* Li_2S_2 . Bagian ini terjadi direntang 1.9-2.0 V, yang mana ini akan berkontribusi besar pada kapasitas sel Li/S. Pada tahap ini reaksi yang terjadi



- Pada tahap keempat atau terakhir terjadi reduksi *solid-solid* (Satu Fasa) dari *insoluble*. Bagian Proses ini terjadi secara kinetik yang lambat dan umumnya akan mengalami dari polarisasi yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat Li_2S_2 dan Li_2S yang tidak konduktif dan tidak larut.(Zhang, 2013)



Gambar 2. 5 Diagram siklus tegangan (*voltage*) pertama pada sel Li-S selama proses *charge/discharge*(Zhang, 2013)

2.3.2 Katoda Sulfur

Sulfur dan produk reduksinya bersifat non-konduktif, sehingga umumnya dilakukan penambahan karbon konduktif terhadap sulfur agar dapat meningkatkan nilai konduktivitas elektronik yang diperlukan untuk operasi sel(Zhang, 2013b). Untuk mempertahankan keunggulan dari densitas energi sulfur yang tinggi, katoda harus memiliki kandungan sulfur minimal 65% dari total berat(Kong et al., 2018).

2.3.3 Anoda Litium

Dalam sel Li/S, deposisi dendrit logam Li tidak separah dengan sistem sel litium lainnya. Hal ini diakibatkan dengan adanya Polisulfida (PS) terlarut yang mencegah pertumbuhan dendrit Li. 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. Masalah utama dari anoda Li adalah nilai efisiensi coulombik yang rendah dan memiliki morfologi yang kasar serta longgar dari pelapisan Li. Li yang berbentuk kasar dan longgar akan memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar sehingga sangat reaktif dengan pelarut elektrolit. Reaksi Li dan pelarut elektrolit akan menghasilkan produk berupa gas dan padatan, hal ini merupakan salah satu penyebab paling penting terkait memudarnya kapasitas sel Li/S(Zhang, 2013a).

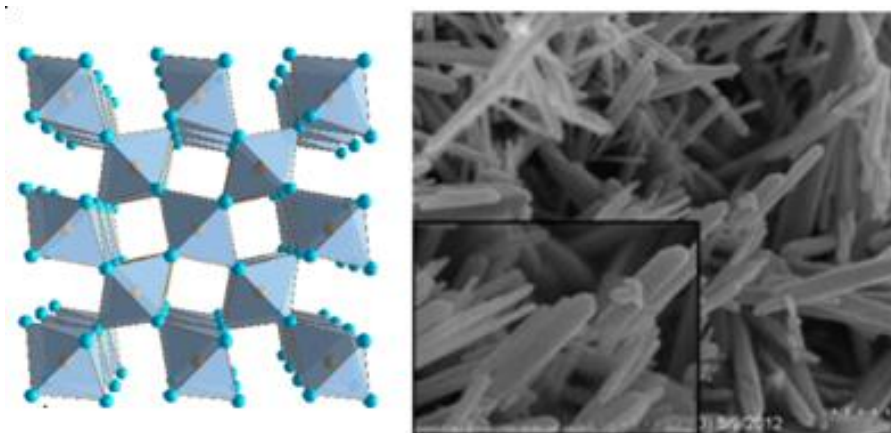
2.3 Mangan Dioksida

Mangan dioksida atau MnO_2 adalah oksida mangan yang mempunyai macam-macam struktur kristal polimorf, seperti β -, α -, dan δ - MnO_2 . Setiap MnO_2 ini terdiri atas suatu struktur terowongan. β - MnO_2 (*pyrolusite*) dengan struktur terowongan (1x1), α - MnO_2 (*hollandite*) struktur terowongan (1x2), dan δ - MnO_2 (*birnessite*) memiliki struktur terowongan (1 x ∞).

.Dengan struktur tunnel yang dimiliki oleh material mangan oksida ini maka material ini banyak diaplikasikan sebagai bahan katoda pada baterai lithium (Saridewi et al., 2015).

2.4.1 Pyrolusite (β - MnO_2)

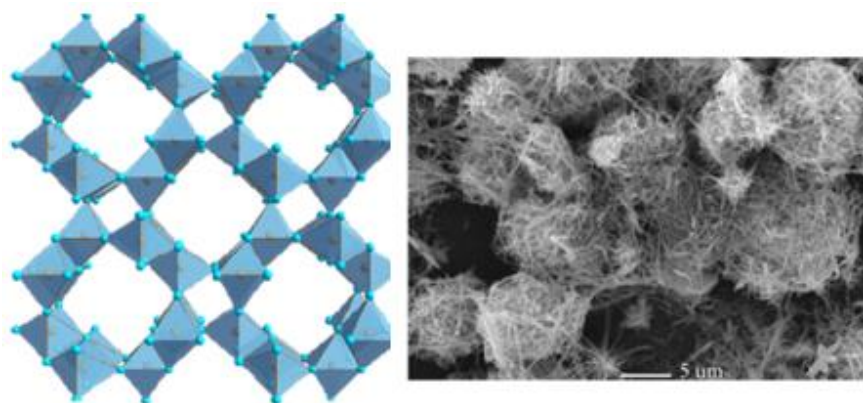
Pyrolusite merupakan bentuk polimorf yang paling stabil dari pada semua bentuk polimorf MnO_2 , karena strukturnya berbentuk *rutile-type* yang berbentuk simetri tetragonal dengan rantai tunggal terdiri dari MnO_6 yang menyebarkan sepanjang menyebarkan di tiap tepi kristalografi sumbu c. Rantai ini terhubung ke empat rantai oleh pada tiap sudut yang berhubungan. Jaringan MnO_6 membentuk terowongan dengan permukaan berbentuk satu segi delapan dan satu segi delapan dan memiliki ukuran terowongan 1x1. Ukuran terowongan ini terlalu kecil untuk menampung spesies kimia lainnya, kecuali ion Li^+ (Nuha, 2014).



Gambar 2. 6 Struktur dan morfologi *pyrollusite* (Y. Sun et al., 2014)

2.4.2 Hollandite (α - MnO_2)

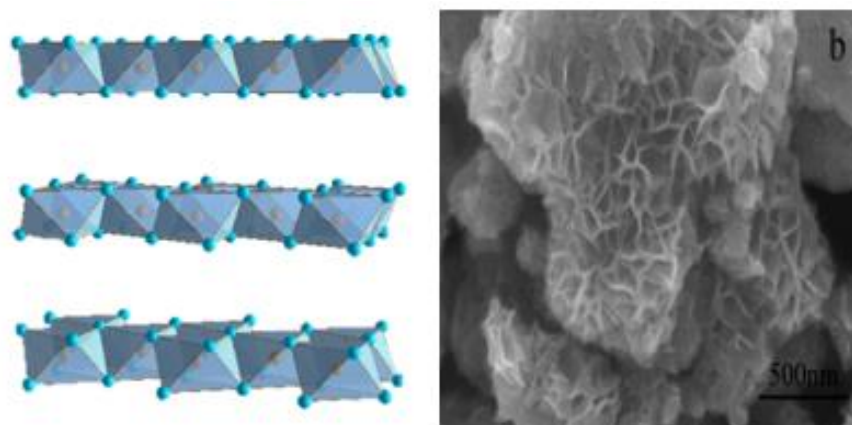
MnO_2 dengan ukuran rongga yang lebih besar adalah α - MnO_2 . α - MnO_2 memiliki bentuk simetri tetragonal dengan parameter sel $a = 9,8776 \text{ \AA}$ dan $c = 2,8654 \text{ \AA}$ (mohammed 2015). Struktur terowongan dari α - MnO_2 dapat distabilkan oleh penyisipan dari Ba^{2+} atau K^+ , atau dengan molekul air di tengah terowongan 2x2. Mn^{4+} menjadi Mn^{3+} dan perubahan O_2^- oleh OH^- (Hashem et al., 2011; Hashemzadeh et al., 2009).



Gambar 2. 7 Struktur dan morfologi *hollandite* (Y. Sun et al., 2014)

2.4.3 Birnessite (δ - MnO_2)

Birnessit adalah mineral struktural berlapis dengan kation terhidrasi antara lapisan yang memiliki nilai $d \sim 7 \text{ \AA}$ antar lapisannya (Soyoung 2020). Oksida ini berstruktur spinel dengan parameter kisi $a = 8,029 \text{ \AA}$ dan $Z = 16$. Diturunkan secara langsung dari struktur spinel dari $Li_{1+x}Mn_{2-x}O_4$ yang terdiri dari suatu susunan oktahedral membentuk lorong 1x1 (Nuha, 2014).

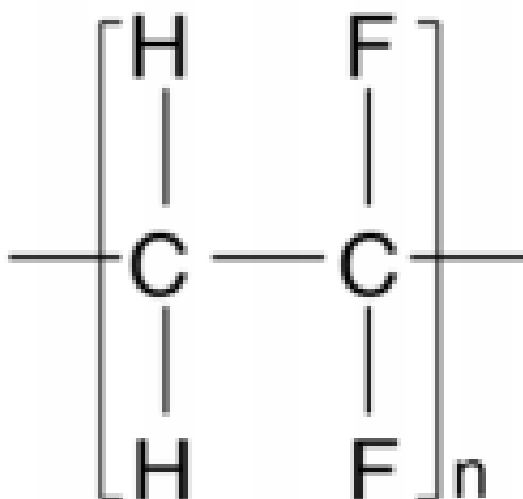


Gambar 2. 8 Bentuk struktur dan morfologi *birnessite* (Qin et al., 2019; Y. Sun et al., 2014)

2.5 Binder PVDF dan PVA

2.5.1 Poliviniliden Fluorida

Polivinylidene fluoride (PVDF) merupakan salah satu jenis polimer (Nugraha et al., 2017). Akhir-akhir ini PVDF sering digunakan sebagai material pengikat pada pembuatan elektroda baterai litium ion (Toigo et al., 2020). Hal ini dikarenakan PVDF memiliki sifat mekanik yang baik, memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, memiliki sifat kimia yang inert (sangat stabil) dan sifat piroelektrik maupun pizelektrik (Li et al., 2013). PVDF berfungsi sebagai pengikat laminasi matriks dan dapat membangun sirkuit elektron serta ion untuk menjamin efektivitasnya. Hal ini berdampak pada meningkatnya stabilitas dan kinerja siklik pada elektroda baterai (Guo et al., 2015). PVDF adalah pengikat yang paling banyak digunakan pada baterai Litium-Ion karena memiliki stabilitas secara elektrokimia dan daya rekatnya yang baik (Buqa et al., 2006) (S. Liu et al., 2019).

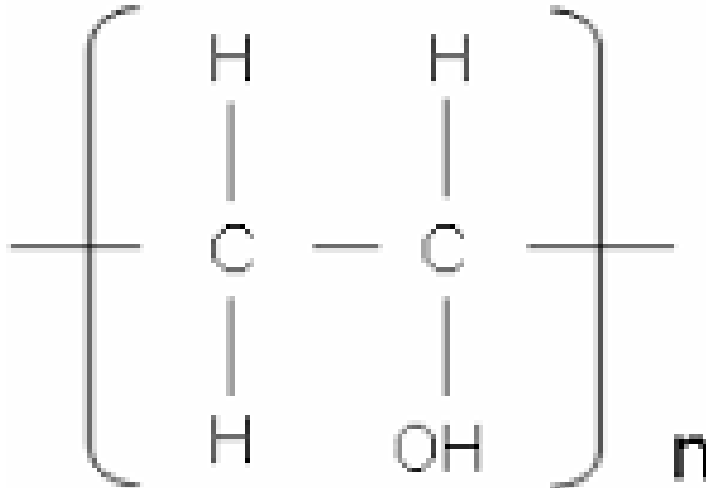


Gambar 2. 9 Struktur molekul polimer PVDF (S. Liu et al., 2019)

2.5.2 Polivinil Alkohol

Polivinil Alkohol merupakan salah satu material pengikat yang memiliki sifat meningkatkan stabilitas siklus yang lebih baik, efisiensi Coulomb yang lebih tinggi, dan kemampuan laju yang lebih baik, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, resistansi

transfermuatan yang rendah, dan koefisien difusi ion litium yang cepat. Pengikat PVA tidak hanya mempertahankan integritas mekanik dan listrik elektroda, tetapi juga meningkatkan kinetika elektrokimia yang menguntungkan sehingga dapat membuat kinerja lebih baik dan membentuk lapisan *Solid Electrolyte Interphase* yang stabil pada permukaan elektroda sehingga masa pakai dapat lebih lama(He & Zhang, 2018).



Gambar 2. 10 Struktur molekul PVA (He & Zhang, 2018)

2.6 Acetylene Black

Penambahan bahan *Acetylene Black* (AB) telah banyak digunakan sebagai aditif konduktor dalam baterai Li-ion untuk meningkatkan konduktivitas. Hal ini disebabkan *Acetylene Black* adalah bahan dengan konduktivitas masal yang tinggi serta luas permukaan spesifik yang dapat diakses oleh ion dan hemat biaya dibandingkan dengan aditif konduktif karbon lainnya(Gaikwad & Arias, 2017), seperti graphene dan karbon nanotube. Elektroda yang mengandung AB akan menghasilkan muatan elektronik yang lebih efektif. Ketika proses pengisian daya, ion target dapat masuk ke dalam lapisan *Acetylene Black* dan kemudian teradsorpsi ke permukaan luar, sehingga jalur difusi ion dapat dipersingkat(Ma et al., 2020).

Distribusi *Acetylene Black* (AB) di lapisan katoda akan sangat berpengaruh pada kinerja baterai. Proses dispersi atau pencampuran yang mendistribusikan partikel AB secara merata di sekitar semua partikel bahan aktif dapat mempengaruhi kinerja elektroda secara positif. Namun, partikel bahan aktif dengan pelapis karbon memiliki dampak yang bervariasi terhadap konduktivitas ionik dan elektronik(Mayer et al., 2020). Agen konduktor memainkan peran penting dalam kinerja senyawa elektrokimia baterai lithium-organik. Penambahan kandungan AB yang optimal dianggap sebagai salah satu strategi untuk meningkatkan konduktivitas elektronik yang rendah pada elektroda(Bu et al., 2012).

2.7 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian Choi et al tahun 2008 melakukan penelitian penambahan *carbon nano-fiber* (CNF) dengan material Pengikat PVDF pada elektroda sulfur. Hasil dari baterai menunjukkan baterai tanpa penambahan CNF dengan PVDF hanya dapat bertahan 30 siklus, karena setelah 30 siklus baterai kehilangan kapasitas sebesar 37% hal ini disebabkan pembentukan polisulfida. Setelah penambahan CNF dengan PVDF terdapat peningkatan kemampuan bisa bertahan hingga 60 siklus akan tetapi setelah 30 siklus kemampuan *discharge* menurun perlahan(Choi et al., 2008).

Penelitian Xiao Liang pada tahun 2016 membuat baterai dengan katoda sulfur dan dilapisi MnO_2 sebagai lapisan interlayer untuk mengurangi dampak polisulfida. Karena sulfur memiliki nilai konduktivitas yang rendah maka katoda dilapisi dengan *Acetylene Black* dan menggunakan PVDF sebagai material pengikatnya. Perbandingan massa yang digunakan antara $\text{S/MnO}_2\text{:Acetylene Black:PVDF}$ adalah 8:1:1 dengan pelarutnya N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP). Baterai dapat bertahan hingga siklus 280 siklus dan kapasitas hanya turun sekitar 30% (Liang & Nazar, 2016).

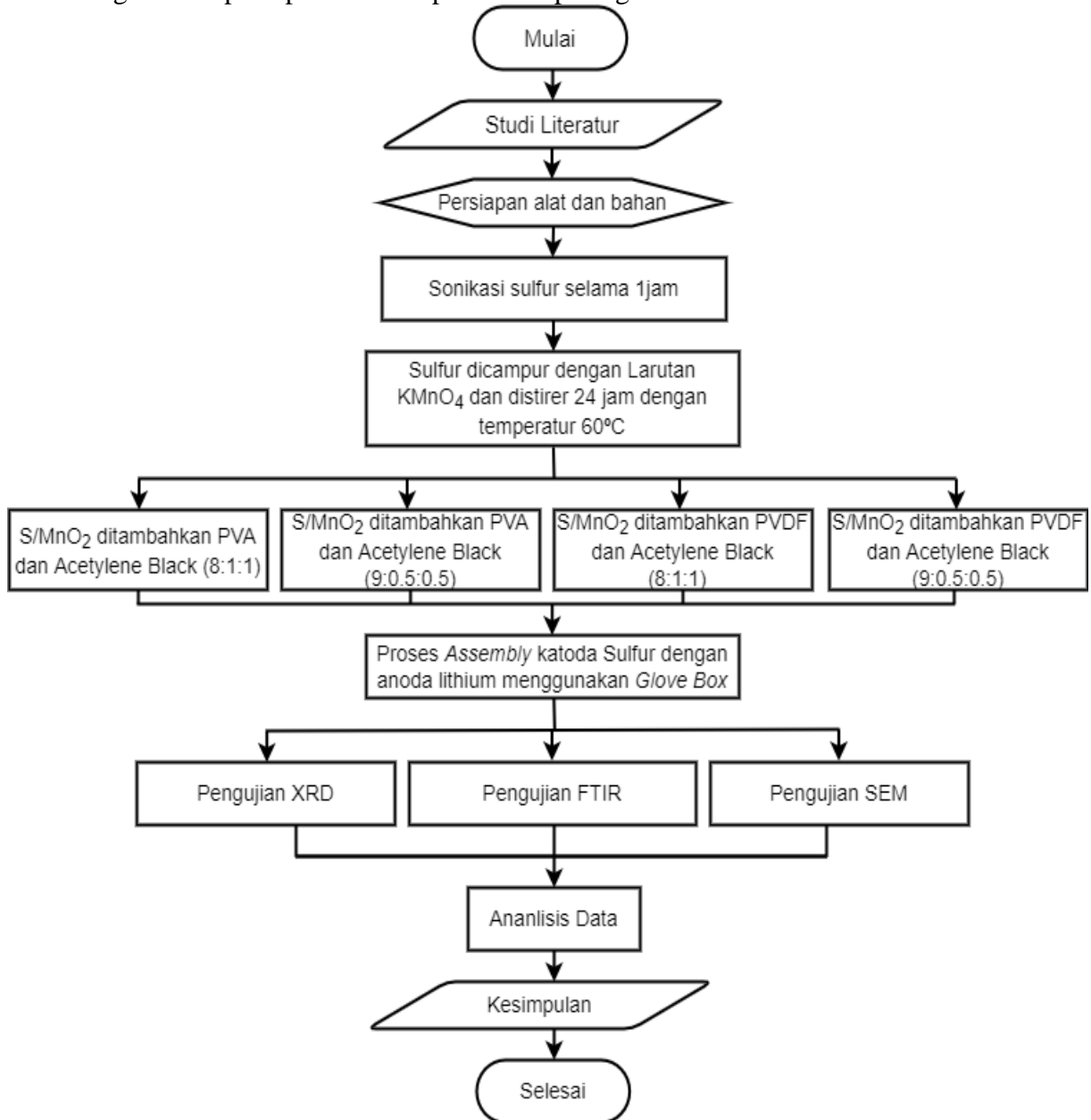
Penelitian Junbin Liao et. Al tahun 2020 tentang efektivitas penggunaan PVA pada katoda baterai litium-sulfur. Penambahan PVA dapat mengurangi penurunan kapasitas mencapai 0,01% tiap siklusnya. Hal ini disebabkan karena polisulfida dapat larut dalam PVA sehingga dapat meningkatkan siklus hidup dari baterai litium-sulfur (Liao et al., 2020).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

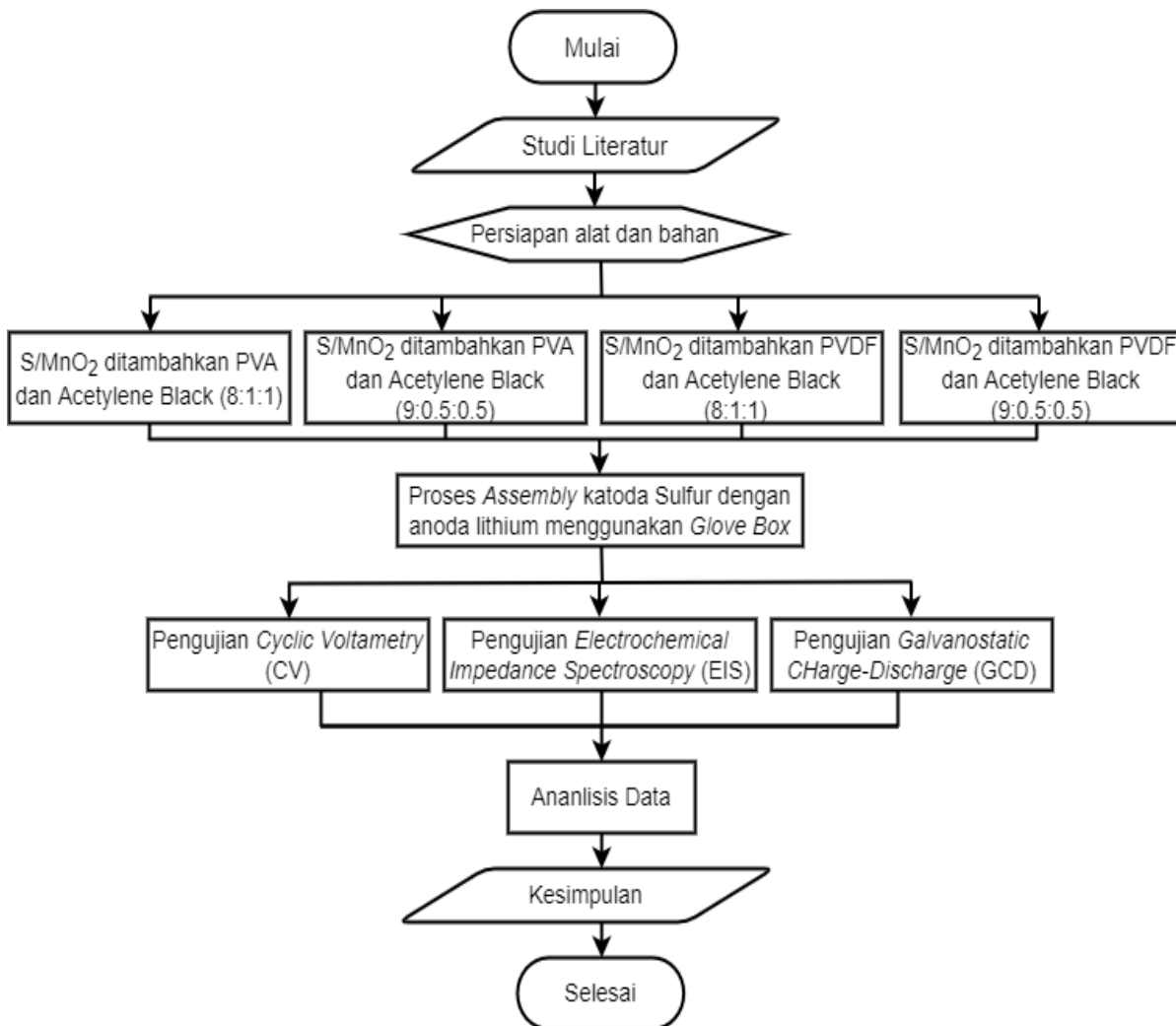
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2



Gambar 3. 1 Diagram alir pengujian karakterisasi katoda



Gambar 3. 2 Diagram alir pengujian Elektrokimia

3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Sulfur 325 mesh

Sulfur berfungsi sebagai bahan utama yang digunakan dalam proses pembuatan katoda yang dilapisi oleh MnO_2 . Sulfur 325 mesh mudah didapatkan di Tokopedia.



Gambar 3. 3 Sulfur 325 mesh

2. KMnO_4

Kalium Permanganat (KMnO_4) akan disintesis menjadi MnO_2 yang akan digunakan untuk melapisi sulfur sebagai katoda baterai. Bahan ini dibeli di RAS Chemical Indonesia.



Gambar 3. 4 KMnO_4

3. *Deionized Water*

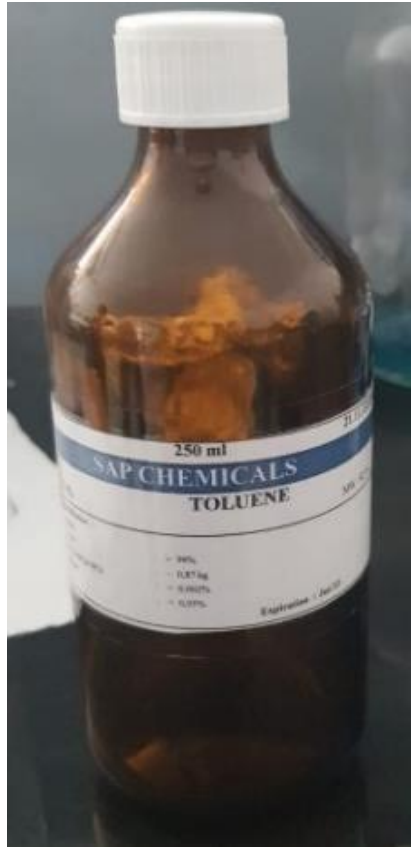
Deionized water (DIW) pada penelitian ini digunakan sebagai pelarut sulfur dan KmnO_4 . DIW dibeli di gerai ONEMED-Medicom Merr



Gambar 3. 5 *Deionized water*

4. Toluena

Toluena berfungsi untuk memisahkan sulfur terhadap MnO_2 . Bahan ini dibeli dari gerai Sumber Ilmiah Persada. yang digunakan pada penelitan ini dibeli dari Sumber Ilmiah Persada.



Gambar 3. 6 Toluena

5. Kertas Filter

Kertas filter digunakan untuk memisahkan padatan dan cairan pada proses filtrasi, bahan ini dibeli di U.D Sukoharjo



Gambar 3. 7 Kertas filter

6. *Polyvinyl Alcohol (PVA)*

PVA pada penelitian ini berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*) antara katoda sulfur/ MnO_2 dengan *Acetylene Black* yang mana PVA ditambahkan ketika pembuatan *slurry battery*. Bahan ini dibeli dari gerai Cahaya Kimia Surabaya.



Gambar 3. 8 *Polyvinyl Alcohol*

7. *Polyvinylidene fluoride (PVDF)*

PVDF memiliki fungsi sebagai bahan pengikat antara katoda sulfur/ MnO_2 dengan *Acetylene Black* yang mana PVDF ditambahkan ketika pembuatan *slurry*



Gambar 3. 9 *Polyvinylidene Fluoride (PVDF)*

8. *Acetylene Black*

Acetylene Black ditambahkan pada katoda kerika pembuatan *slurry* atau sebelum *assembly*. *Acetylene Black* berfungsi untuk meneambahkan nilai konduktifitas katoda.



Gambar 3. 10 *Acetylene Black*

9. Cairan NMP

Cairan ini berfungsi sebagai media pelarut *binder* PVA dan PVDF untuk merekatkan *Acetylene Black* pada katoda sulfur/ MnO_2 .



Gambar 3. 11 N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP)

10. Separator

Separator digunakan sebagai pemisah antara katoda dan anoda dalam rangkaian baterai *lithium*.



Gambar 3. 12 Separator Baterai Lithium Sulfur

11. Cairan Elektrolit LiTF Si

Cairan elektrolit LiTF Si berfungsi sebagai cairan elektrokimia pada baterai *lithium-sulfur*.



Gambar 3. 13 Elektrolit LiTFSi Baterai Lithium-Sulfur

12. *Lithium* Metal

Lithium metal digunakan untuk anoda pada pembuatan baterai *lithium* sulfur. *Lithium* metal memiliki karakteristik mudah teroksidasi maka *lithium* ditempatkan pada botol kaca yang diisi oleh larutan elektrolit dan tertutup rapat, setelah itu botol disimpadn pada *glovebox* yang berisi gas argon.



Gambar 3. 14 Lithium Metal

13. Aluminium Foil

Aluminium foil digunakan untuk menutup gelas beaker dan nampan oven selama proses pembuatan baterai agar tidak terkontaminasi dari partikel udara bebas



Gambar 3. 15 Aluminium Foil

14. *Lithium* Coin Cell

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



Gambar 3. 16 Lithium Coin Cell

15. Gas Argon

Gas argon merupakan gas inert sehingga digunakan untuk mengisi gas dalam *glovebox* yang telah steril dari oksigen, hal ini bertujuan agar ketika *assembly* baterai *lithium metal* tidak teroksidasi.



Gambar 3. 17 Gas Argon

3.3 Alat yang Digunakan Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca Analitik

Neraca digunakan untuk menimbang seluruh bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan baterai.



Gambar 3. 18 Neraca Analitik

2. Kaca Arloji

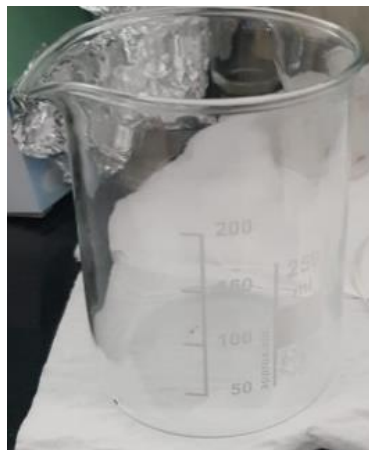
Kaca arloji berfungsi sebagai alas atau wadah untuk bahan yang akan ditimbang di neraca analitik



Gambar 3. 19 Kaca Arloji

3. Gelas Beaker

Gelas beaker berfungsi sebagai wadah untuk mencampurkan bahan-bahan yang telah ditimbang dengan DIW atau NMP sebagai cairan.



Gambar 3. 20 Gelas Beaker

4. *Ultra Sonic Cleaner*

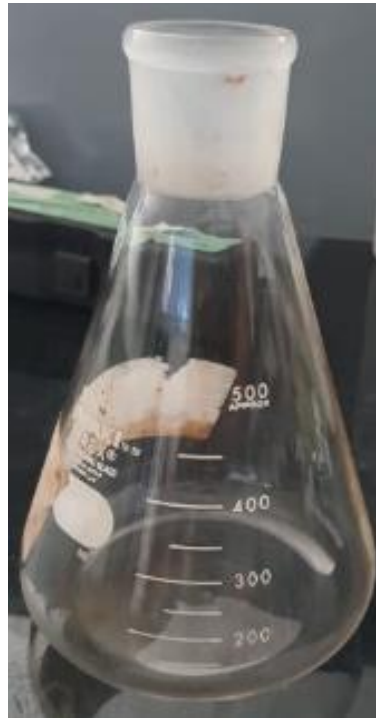
Ultra Sonic Cleaner digunakan untuk men-sonikasi sulfur agar sulfur yang akan digunakan terbebas dari zat pengotor.



Gambar 3. 21 Ultrasonic Cleaner

5. Gelas Labu

Gelas labu berfungsi sebagai wadah untuk menampung cairan yang tidak dibutuhkan dalam proses filtrasi



Gambar 3. 22 Gelas Labu

6. Gelas Corong

Gelas corong berfungsi sebagai alas untuk kertas filter ketika proses filtrasi.



Gambar 3. 23 Gelas Corong

7. *Hot Plate Magnetic Stirrer*

Hot Plate Magnetic Stirrer digunakan dalam proses sintesis Sulfur/MnO₂ dan pembuatan *slurry*



Gambar 3. 24 *Hot Plate Magnetic Stirrer*

8. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan bubuk katoda yang telah diratakan diatas aluminium foil. Oven juga digunakan untuk mengeringkan bahan dan alat lainnya yang akan dimasukkan dalam *glovebox*, hal ini dilakukan agar alat dan bahan tersebut tidak mengandung air.



Gambar 3. 25 Oven

9. Glove Box

Glove Box berfungsi sebagai tempat yang steril untuk assembly baterai.



Gambar 3. 26 Glove Box Laboratorium Korosi

10. *X-ray Diffraction (XRD)*

XRD digunakan untuk melakukan pengujian sampel agar mengetahui hasil struktur dari Sulfur/MnO₂



Gambar 3. 27 X-Ray Diffraction

11. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi dari struktur katoda



Gambar 3. 28 Scanning Electron Microscope (SEM)

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

Pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui adanya gugus ikatan polimer PVA dan PVDF.



Gambar 3. 29 FTIR

13. *Galvanostatic Charge-Discharge*

Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian pengisian daya dan pelepasan daya baterai



Gambar 3. 30 *Galvanostatic Charge-Discharge*

14. Alat pengujian *Cyclic Voltametric (CV)* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

Pengujian CV berfungsi untuk mengetahui massa pakai optimum baterai. Pengujian EIS berfungsi untuk mengetahui karakteristik elektrokimia dari bahan yang digunakan.



Gambar 3. 31 Alat Pengujian CV dan EIS

3.4 Metode Penelitian

Dalam penelitian kali ini dilakukan metode seperti jurnal Liang tahun 2016, yaitu membuat katoda S/MnO₂ dengan cara pengadukan pada temperatur 60°C setelah itu pembuatan *slurry* baterai dengan variasi perbedaan *binder* PVA dan PVDF.

3.4.1 Sintesa Katoda Sulfur dan MnO₂

Hal pertama yang dilakukan yaitu sulfur seberat 1 gr dicampurkan dengan air deionisasi sebanyak 150 ml, setelah dicampurkan dilakukan proses sonikasi selama 60 menit. Proses ini berguna untuk membersihkan serbuk sulfur dari pengotor. Setelah proses sonikasi selesai, selanjutnya sulfur disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan sulfur dari air deionisasi yang telah melarutkan zat pengotor. Sulfur yang telah disaring dicampurkan dengan 25 mg KMnO₄ yang dilarutkan pada 50 ml air deionisasi kemudian dilakukan proses pengadukan selama 24 jam dengan temperatur 60 °C menggunakan alat *magnetic stirrer*. Setelah itu dilakukan proses *filtrasi* Sulfur/MnO₂ dari air deionisasi, hasil dari *filtrasi* kemudian di oven selama 6 jam dengan temperatur 60 °C.

3.4.2 Proses Pencucian S/MnO₂ dengan Toluena

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan sulfur yang ada pada katoda. Hal ini bertujuan untuk mengetahui struktur MnO₂ yang terbentuk selama proses sintesis. Hal pertama yang dilakukan yaitu melarutkan 9,8 ml toluena dengan 49 ml air deionisasi. Larutan tersebut dicampurkan dengan serbuk S/MnO₂ kemudian diaduk selama 1 jam dengan temperatur 60 °C, kemudian S/MnO₂ disaring untuk memisahkan dari larutan yang mengandung sulfur. Kegiatan pencucian dengan toluena dilakukan minimal 3 kali pengulangan untuk mendapatkan serbuk MnO₂ yang terbebas dari sulfur. Setelah kandungan sulfur dihilangkan, selanjutnya serbuk diuji XRD untuk mengetahui struktur MnO₂ yang terbentuk pada Sulfur/MnO₂

3.4.3 Proses Assembly Baterai

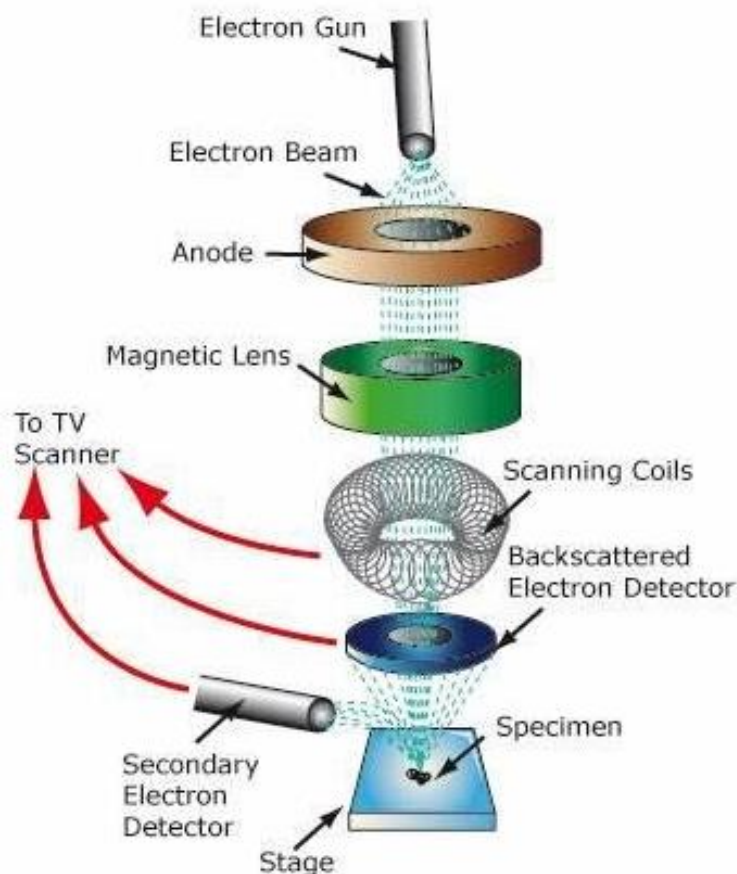
Proses ini bertujuan untuk melakukan pengujian baterai litium sulfur dengan EIS, CV, dan GCD. Proses pertama yang dilakukan adalah pembuatan bubur katoda. Untuk variasi PVA, maka S/MnO₂ dicampur dengan PVA dan *Acetylene Black* (8:1:1) dan (9:0,5:0,5). Untuk variasi PVDF, maka S/MnO₂ dicampur dengan PVDF dan *Acetylene Black* (8:1:1) dan (9:0,5:0,5). Fungsi penggunaan *Acetylene Black* adalah untuk meningkatkan konduktivitas katoda, dan fungsi binder PVA maupun PVDF adalah sebagai material pengikat. Setelah semua bahan dicampur dengan variasi masing-masing, selanjutnya dilarutkan kedalam NMP untuk PVDF dan PVA. Proses pelarutannya dengan cara mengaduk bubur katoda selama 24 jam dengan temperatur 60°C menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian, bubur katoda di-*coating* pada aluminium foil untuk mendapatkan lembaran katoda. Setelah itu lembaran katoda dikeringkan dalam oven dengan temperatur 60°C selama 24 jam. Katoda yang telah dikeringkan siap untuk di-*assembly* jadi baterai.

Proses *assembly* dilakukan pada *glove box* dengan gas argon didalamnya. Hal pertama yang dilakukan yaitu litium koin sel kutub negatif ditetesi dengan larutan elektrolit LiTFSi sebanyak 2-3 tetes, kemudian anoda litium metal dipasang dan diberi larutan elektrolit sebanyak 2-3 tetes. Separator diletakkan pada bagian atas anoda dan ditetesi elektrolit sebanyak 2-3 tetes. Setelah separator, bagian selanjutnya adalah katoda. Setelah itu, *spacer* dan *spring* dipasang diatas katoda kemudian ditutup dengan litium koin sel kutub positif. Kemudian baterai dipress dengan kekuatan 10 Mpa agar litium koin sel tertutup dengan rapat. Setelah *assembly* maka dilakukan pengujian elektrokimia dengan bantuan mesin CV, EIS, dan GCD.

3.5 Pengujian Scanning Electron Microscopi (SEM)

Pengujian SEM merupakan pengujian ini berfungsi untuk mengetahui ukuran partikel dan struktur permukaan pada maupun morfologi pada katoda S/MnO₂. SEM merupakan mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar morfologi dengan bantuan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola *raster scan*. Cara kerja alat ini yaitu dengan menembakkan elektron dari *electron gun* melewati *condensing lenses*. Elektron akan difokuskan pada spesimen oleh lensa

objektif, nantinya elektron yang mengenai permukaan spesimen akan memantul dan ditangkap oleh *Backscattered Electron Detector* (BSE) dan *secondary electron detector* kemudian elektron dikembalikan pada sistem kontrol sehingga gambar dapat tersaji di monitor. Dalam pengujian SEM terdapat tahapan untuk melakukannya, yaitu dengan melakukan preparasi spesimen dengan cara meletakkan serbuk sampel pada wadah yang telah diberikan *carbon tape*. Setelah itu masuk tahap pengujian, dalam proses ini serbuk sampel yang telah diletakkan pada wadah yang tersedia kemudian dimasukkan ke dalam mesin uji. Setelah dimasukkan sampel tersebut, maka gambar akan muncul pada monitor. Skema cara kerja alat SEM berada pada gambar 3.32.



Gambar 3. 32 Skema Alat Uji SEM (Mostafa Shawky et al., 2016)

3.6 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

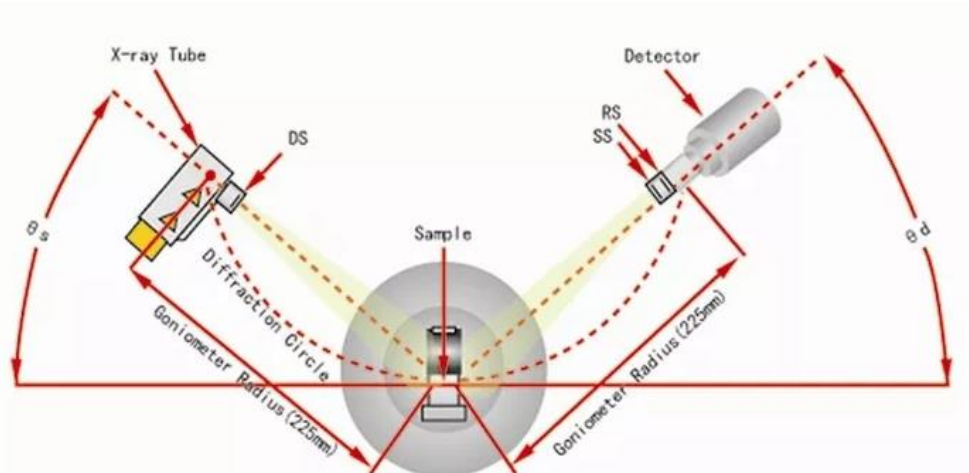
Pengujian XRD merupakan salah satu karakterisasi material, pengujian ini menggunakan Philip Analytical Tools dan sinar-X dengan rentang sudut 5° - 90° dan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ 1,54056. Pengujian ini digunakan untuk sampel Sulfur/ MnO_2 . Dalam melakukan pengujian XRD terdapat beberapa proses yaitu preparasi spesimen, kemudian spesimen diletakkan pada tatakan yang dilapisi plastik karena berbentuk serbuk yang dapat diatur. Sampel kemudian men-difraksikan berkas sinar-X dan difokuskan pada celah dan masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X yang ditembakkan akan diterima oleh detektor dan dilampirkan dalam bentuk kurva intensitas terhadap sudut difraksi. Adapun persamaan untuk menghitung ukuran kristalit dan parameter kisi sebagai berikut

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad 3.1$$

D adalah ukuran kristalit dalam satuan amstrong (\AA), lamda (λ) adalah panjang gelombang alat XRD dengan panjang 1,54056 \AA , B adalah lebar setengah puncak (FWHM) dalam satuan radian, θ merupakan sudut terbentuknya puncak pada hasil uji XRD.

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

Jarak anta bidang kisi dilambangkan (d), parameterkisi dilambangkan (a,b,c) indeks Miller dari bidang Bragg dilambangkan h,k , dan l

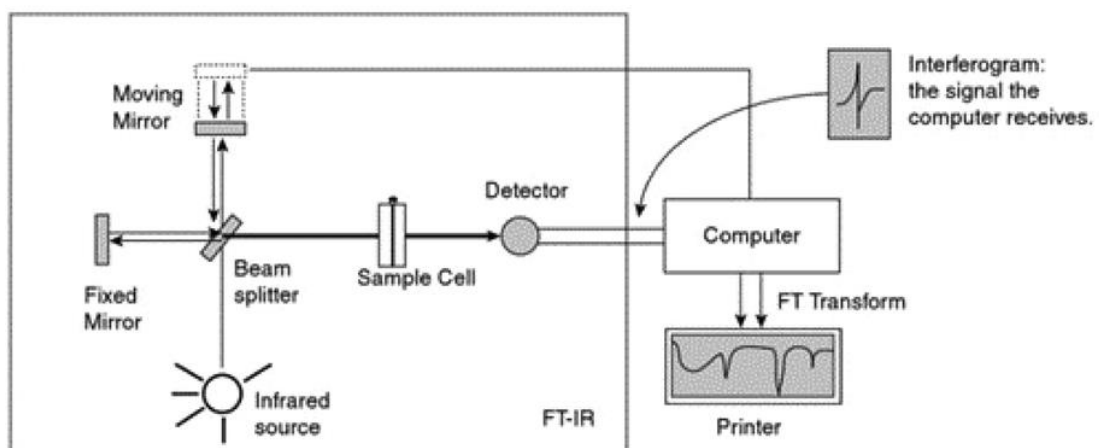


Gambar 3. 33 Skema alat uji XRD (Seregin et al., 2019)

3.7 Pengujian FTIR

Pengujian *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dilakukan untuk menguji katoda S/MnO₂ dengan binder PVA dan PVDF. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat Thermo Scientific Nicolet IS10 pada divisi karakterisasi material di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS. Katoda S/MnO₂ diuji FTIR untuk mengetahui adanya keberadaan gugus polimer dari PVA atau PVDF yang terbentuk.

Pengujian FTIR merupakan pengujian yang memanfaatkan interaksi energi dan material, hal ini dikarenakan ketika spesimen terkena sinar inframerah, energi dari sinar inframerah tidak memiliki kekuatan yang cukup agar dapat menyebabkan atomisasi. Hal ini menyebabkan atom-atom pada spesimen akan bergetar. Skem alat uji FTIR dapat dilihat pada gambar 3.35.



Gambar 3. 34 Skema alat uji FTIR (Jalvandi, 2016)

3.8 Pengujian GCD

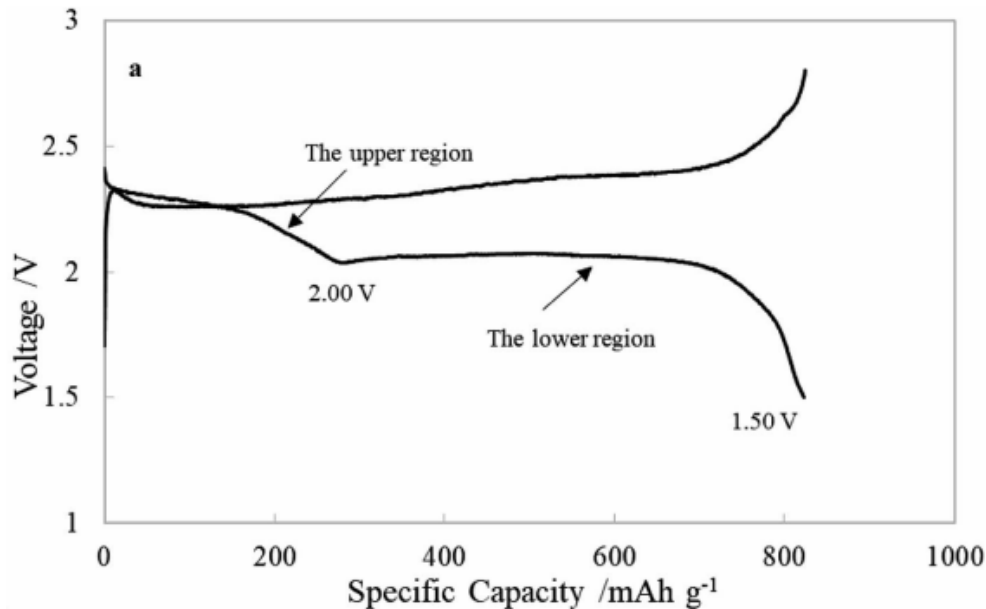
Pengujian *Galvanostat Charge-Discharge* (GCD) memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menyimpan energi. Dalam pengujian kali ini berguna untuk mengetahui kemampuan penyimpanan energi dari baterai dengan katoda S/MnO₂ dan anoda litium. Pengujian ini dilakukan di laboratorium analisa kegagalan dan korosi Teknik Material dan Metalurgi. Tes GCD dilakukan dengan kondisi kepadatan arus tetap atau konstan. Kapasitas baterai dapat dihitung dengan rumus

$$Q = I \times t \quad 3.3$$

$$\text{Presentase Degradasi} = \frac{\text{Discharge Awal} - \text{Discharge Akhir}}{\text{Discharge awal}} \times 100\% \quad 3.4$$

$$\text{Efisiensi kolombik} = \frac{\text{Discharge}}{\text{Charge}} \times 100\% \quad 3.5$$

Yang mana Q adalah kapasitas, I adalah kerapatan arus, dan t adalah waktu. Grafik hasil pengujian GCD baterai Li-S dapat dilihat pada gambar 3.35.



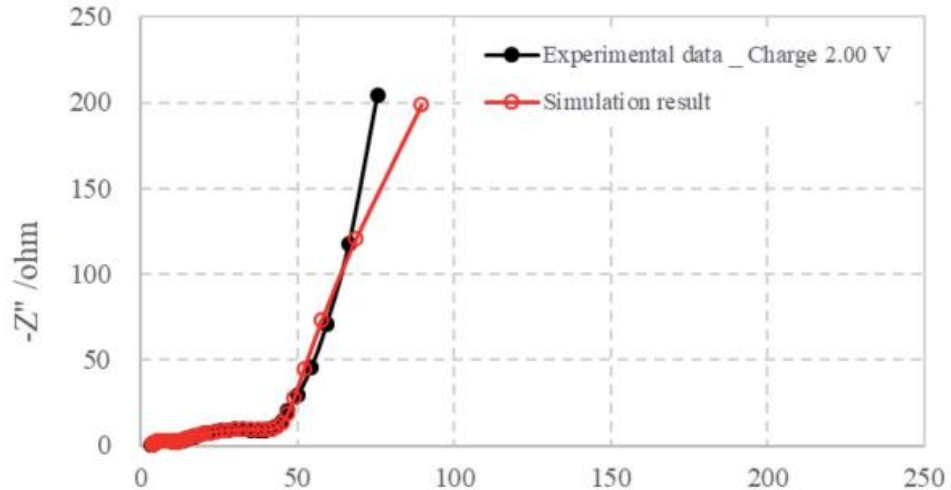
Gambar 3. 35 Grafik pengujian GCD Li-S(Bu et al., 2012)

3.9 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Pegujian EIS bertujuan untuk menganalisa elektroda, dalam penelitian ini yaitu litium sebagai anoda dan S/MnO₂ sebagai katoda, terhadap potensial AC dengan amplitudo yang rendah sebesar ~10 mV terhadap frekuensi dengan rentang yang lebar. Pengujian ini merupakan metode yang bagus untuk menilai parameter kinetik dari proses yang ada pada baterai terutama elektroda seperti pasivasi lapisan, *charge transfer*, dan difusi Li⁺. Dalam karakterisasi kuantitatif kecepatan dari suatu reaksi elektroda digunakan parameter *Charge-Transfer Resistance* (R_{ct}). Pada umumnya nilai R_{ct} yang besar akan menghasilkan reaksi elektrokimia yang lambat. Untuk mengetahui nilai komduktivitas dari baterai tersebut dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan 3.7

$$S = \frac{l}{R \times A} \quad 3.6$$

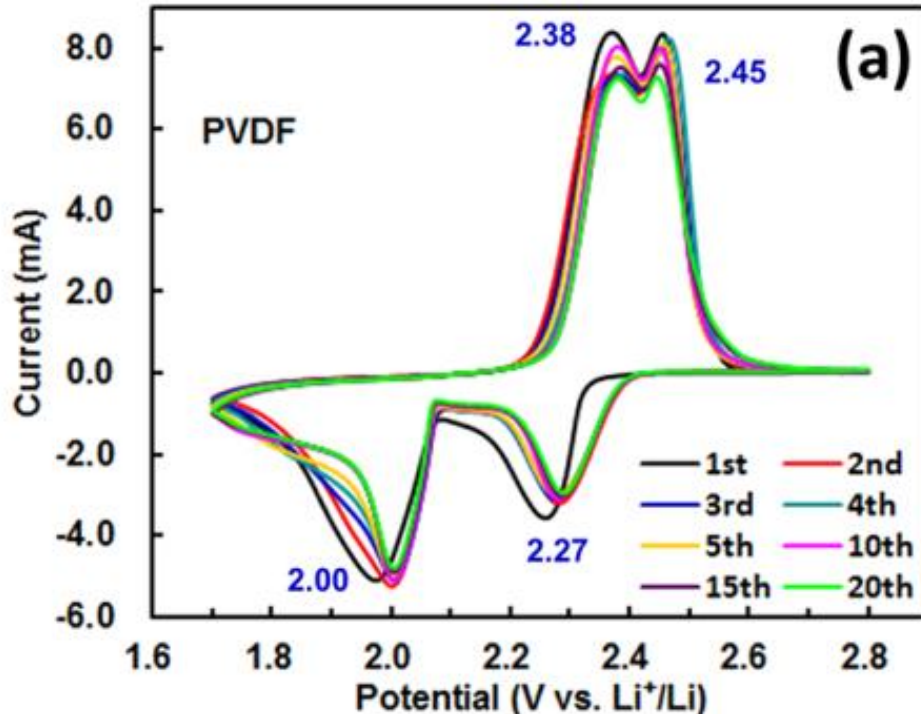
S merupakan nilai konduktivitas, l merupakan ketebalan elektroda, R merupakan resistansi, dan A adalah luas permukaan dari elektroda



Gambar 3. 36 Grafik pengujian EIS Li-S (Qiu et al., 2020)

3.10 Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

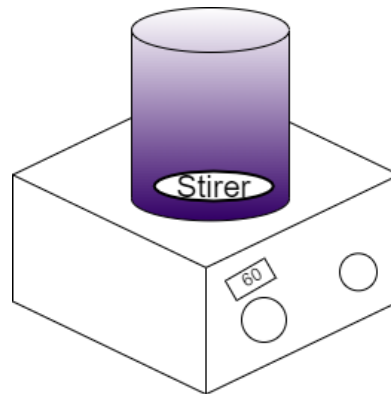
Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) merupakan salah satu metode elektroanalisis yang berdasar pada elektrolisis larutan analit elektroaktif serta reaksi yang terjadi pada elektroda logam dengan elektrolitnya. Pengujian ini termasuk kedalam metode pengujian aktif karena berdasar pada potensial yang terkontrol. Pengujian ini dilakukan dengan menentukan potensial ke dalam sel elektrokimia, kemudian sel akan merespon dengan menghasilkan arus dari reaksi redoks. Arus yang timbul dari reaksi redoks ini yang akan diukur dan diplot terhadap fungsi potensial. Berikut merupakan gambar hasil pengujian CV



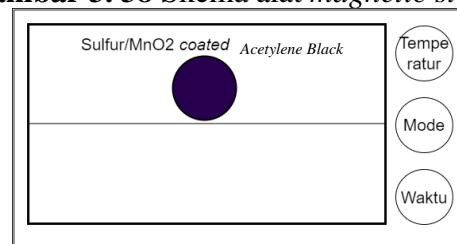
Gambar 3. 37 Grafik hasil pengujian CV Li-S(Qiu et al., 2020)

3.11 Rancangan Penelitian

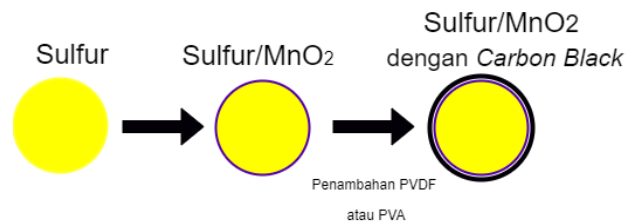
Dibawah adalah skema peralatan yang digunakan dalam proses sintesis katoda Sulfur/MnO₂ dan pelapisan *Acetylene Black* pada katoda dengan material pengikat PVA dan PVDF.



Gambar 3. 38 Skema alat *magnetic stirrer*

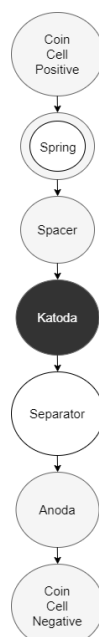


Gambar 3. 39 Skema pengeringan katoda dengan oven



Gambar 3. 40 Skema Pembuatan Katoda

Setelah proses pembuatan katoda, maka dilanjutkan dengan proses perakitan baterai Li-S. Skema proses perakitan baterai dapat dilihat pada gambar 3.41.



Gambar 3. 41 Skema perakitan baterai *coin cell* litium-sulfur

Dibawah merupakan tabel rancangan penelitian dan tabel rencana jadwal penelitian ini

Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian

No	Spesimen	XRD	SEM	FTIR	GCD	CV	EIS
1	Sulfur/MnO ₂ dengan PVA dan <i>Acetylene</i> <i>Black</i> perbandingan massa (8:1:1)	V	V	V	V	V	V
	Sulfur/MnO ₂ dengan PVA dan <i>Acetylene</i> <i>Black</i> perbandingan massa (9:0,5:0,5)	V	V	V	V	V	V
3	Sulfur/MnO ₂ dengan PVDF dan <i>Acetylene</i> <i>Black</i> perbandingan massa (8:1:1)	V	V	V	V	V	V
	Sulfur/MnO ₂ dengan PVDF dan <i>Acetylene</i> <i>Black</i> perbandingan massa (9:0,5:0,5)	V	V	V	V	V	V

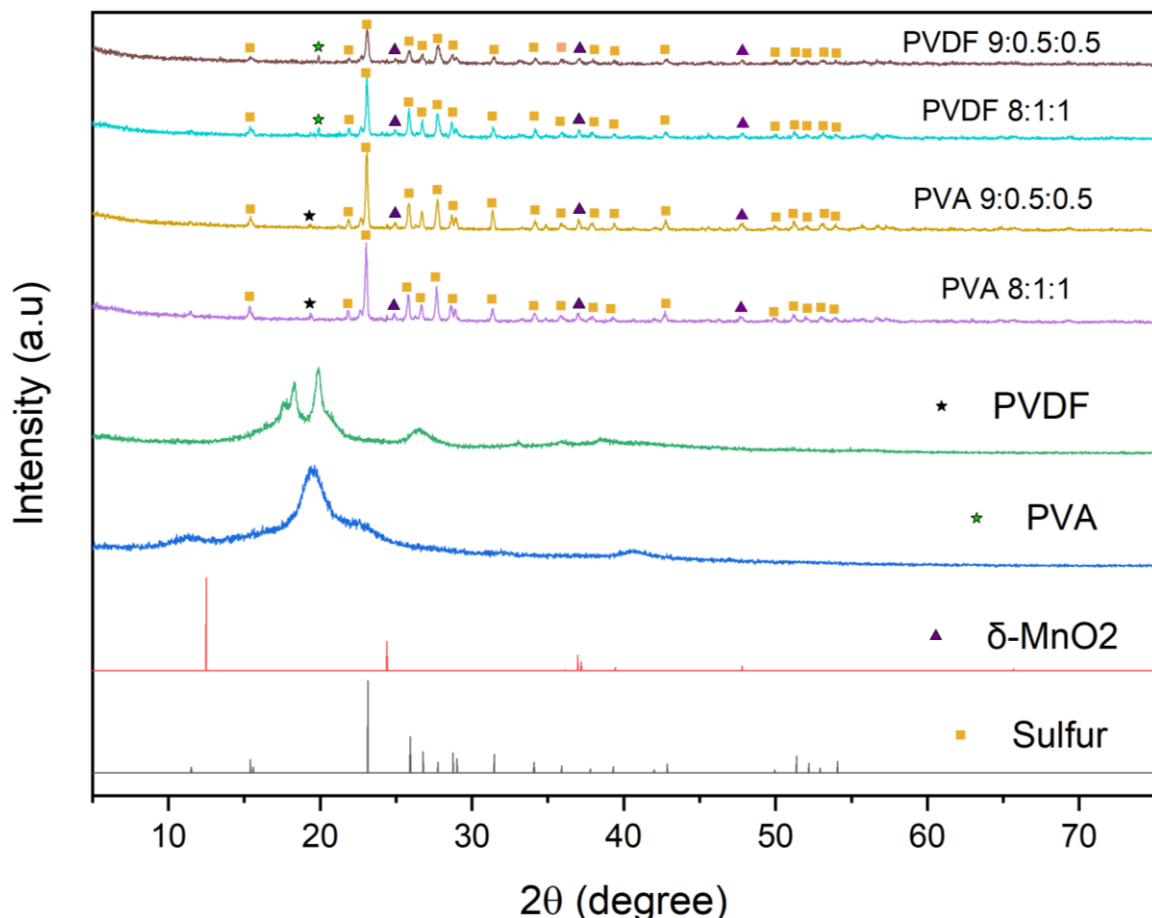
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian dan Analisis Karakterisasi

4.1.1 Hasil Pengujian dan Analisis XRD

Pengujian XRD dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi dengan spesimen S/MnO₂ dengan variasi massa S/MnO₂:*binder*:*acetylene black* serta *binder* yang digunakan adalah PVA dan PVDF. Variasi massa yang digunakan pada *binder* PVA adalah 80% S/MnO₂ 10% PVA dan 10% *Acetylene Black* dan komposisi massa 90% S/MnO₂ 5% PVA 5% *Acetylene Black*. Variasi massa yang digunakan pada *binder* PVDF adalah 80% S/MnO₂ 10% PVDF 10% *Acetylene Black* dan 90% S/MnO₂ 5% PVA 5% *Acetylene Black*. Analisis Uji XRD dilakukan dengan range sudut $2\theta = 5^\circ\text{-}90^\circ$ dan Panjang gelombang sebesar 1.54060 Å dengan generator arus 30 mA serta voltase 40 kV. Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dan struktur kristal. Analisis hasil XRD menggunakan software High Score Plus untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dan struktur kristal pada sampel S/MnO₂/PVDF dan S/MnO₂/PVA. Analisis *peak* menggunakan referensi pada software *High Score Plus* untuk sulfur memiliki kode COD 2021 96-901-1364, δ -MnO₂ memiliki kode COD 2021 96-901-0157, PVA menggunakan referensi dari hasil pengujian XRD sampel PVA murni tanpa perlakuan, dan PVDF menggunakan referensi dari hasil pengujian XRD sampel PVDF murni tanpa perlakuan.. Hasil pengujian XRD dengan variasi jenis *binder*, massa *binder*, massa *Acetylene Black* dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Hasil XRD

Dari gambar 4.1 menyajikan hasil pengujian XRD dari semua spesimen dalam bentuk grafik, pada grafik spesimen terdapat *peak-peak* yang sama dengan *peak* sumber. Pada setiap

spesimen terdapat jumlah *peak* sulfur sebanyak 19 dengan *peak* tertinggi berada pada 23,019° sesuai dengan referensi sulfur yang memiliki kode 2021 96-901-1364. δ -MnO₂ juga ditemukan sebanyak 4 *peak* tiap spesimen dengan *peak* tertinggi berada 12,48° sesuai referensi yang memiliki kode 96-901-0157.. Intensitas tertinggi terdapat pada spesimen PVDF 8:1:1 sebesar 98, kemudian PVA 8:1:1 sebesar 80, PVDF 9:0.5:0.5 sebesar 75, dan PVA 9:0.5:0.5 sebesar 65. *Peak* PVA muncul sebanyak 1 kali pada tiap variasi penggunaan PVA dengan *peak* tertinggi berada pada 20.249°(Aziz et al., 2017). Intensitas tertinggi terdapat pada spesimen PVA 8:1:1 sebesar 85 kemudian PVA 9:0.5:0.5 sebesar 68. *Peak* PVDF muncul sebanyak 1 pada tiap variasi penggunaan PVDF dengan *peak* tertinggi berada pada 20,04°(Prasad et al., 2017). Intensitas tertinggi terdapat pada spesimen PVDF 8:1:1 sebesar 95 kemudian PVDF 9:0.5:0.5 sebesar 76. Hal ini membuktikan bahwasannya metode sintesis dan *coating* yang digunakan berhasil membentuk struktur kristal sulfur, δ -MnO₂, dan *Acetylene Black* serta membentuk polimerisasi PVA dan PVDF.

Pengaruh variasi penggunaan PVDF/PVA dan *Acetylene Black* terhadap ukuran kristal sulfur, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Debye Scherer sesuai dengan persamaan 3.1. Hasil perhitungan kristalinit dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Ukuran kristal sulfur dengan variasi PVA/PVDF dan *Acetylene Black*

	Variasi	$\theta(^{\circ})$	FWHM($^{\circ}$)	0.9λ	B(rad)	Cos θ	D (nm)
S/MnO ₂ /PVA/	8:1:1	11.512	0.143	1.387	0.00249	0.49338	112.753
AB	9:0.5:0.5	11.509	0.134	1.387	0.00234	0.49138	120.828
S/MnO ₂ /PVDF/	8:1:1	11.533	0.085	1.387	0.00148	0.51206	183.382
AB	9:0.5:0.5	11.533	0.084	1.387	0.00146	0.5124	185.451

Dari tabel diatas didapatkan ukuran kristal sulfur yang berbeda-beda dari masing-masing sampel dan memiliki nilai FWHM yang berbeda-beda. FWHM (Full Width at Half Maximum) yang terletak pada puncak difraksi tiap spesimen memiliki hubungan berbanding terbalik dengan ukuran kristal sulfur, dari data diatas dapat disimpulkan semakin besar nilai FWHM maka semakin kecil ukuran kristal sulfur yang terbentuk. Pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa penurunan ukuran kristal sulfur terjadi ketika penambahan massa PVA dan *Acetylene Black* begitu juga dengan penambahan massa PVDF dan *Acetylene Black* dapat menurunkan ukuran kristal sulfur. Besar kecilnya ukuran kristal sulfur akan mempengaruhi kemampuan menghantarkan elektron, jika semakin kecil ukuran kristal sulfur maka akan semakin mudah material tersebut menghantarkan elektron begitu juga sebaliknya (Flygare & Svensson, 2021)

Perhitungan parameter kisi a,b,c S/MnO₂/PVDF/AB dan S/MnO₂/PVA/AB dapat digunakan untuk mengetahui struktur kristalnya dengan cara dibandingkan dengan parameter kisi a,b,c dari referensi sulfur yang mempunyai struktur kristal orthohombik. Kisi kristal orthohombik dapat dihitung dengan persamaan 4.2, hasil dari perhitungan parameter kisi dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Perhitungan parameter kisi S/MnO₂/PVA/AB dan S/MnO₂/PVDF/AB

Parameter Kisi	Referensi Sulfur	PVA:AB		PVDF:AB	
	96-901-1364	10%:10%	5%:5%	10%:10%	5%:5%
a	10.466	10.493	10.52	10.465	10.489
b	12.864	12.896	12.86	12.884	12.864
c	24.4869	24.552	24.46	24.551	24.447

Dari tabel diatas didapatkan perhitungan parameter kisi referensi sulfur dengan kode 96-901-1364 serta spesimen S/MnO₂/PVA/AB dan S/MnO₂/PVDF/AB tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Hal ini ini menyatakan bahwa stuktur kristal dari S/MnO₂/PVA/AB dan S/MnO₂/PVDF/AB dengan variasi massa 8:1:1 dan 9:0.5:0.5 memiliki struktur kristal yang sama dengan sulfur referensi yaitu orthohombik.

4.1.2 Hasil Pengujian dan Analisis FTIR

Pada pengujian FTIR spesimen yang digunakan adalah S/MnO₂ dengan variasi massa S/MnO₂:*binder*:*acetylene black* serta jenis *binder* yang digunakan adalah PVA dan PVDF. Variasi massa yang digunakan pada *binder* PVA adalah 80% S/MnO₂ 10% PVA dan 10% *Acetylene Black* dan komposisi massa 90% S/MnO₂ 5% PVA 5% *Acetylene Black*. Variasi massa yang digunakan pada *binder* PVDF adalah 80% S/MnO₂ 10% PVDF 10% *Acetylene Black* dan 90% S/MnO₂ 5% PVA 5% *Acetylene Black*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan ikatan kimia yang terbentuk pada spesimen tersebut. Analisis dari pengujian ini dilakukan untuk mengetahui PVA dan PVDF terbentuk pada lapisan permukaan S/MnO₂/AB. Referensi spektrum PVA menggunakan jurnal Bhat tahun 2005 dan PVDF menggunakan jurnal Dong 2016.

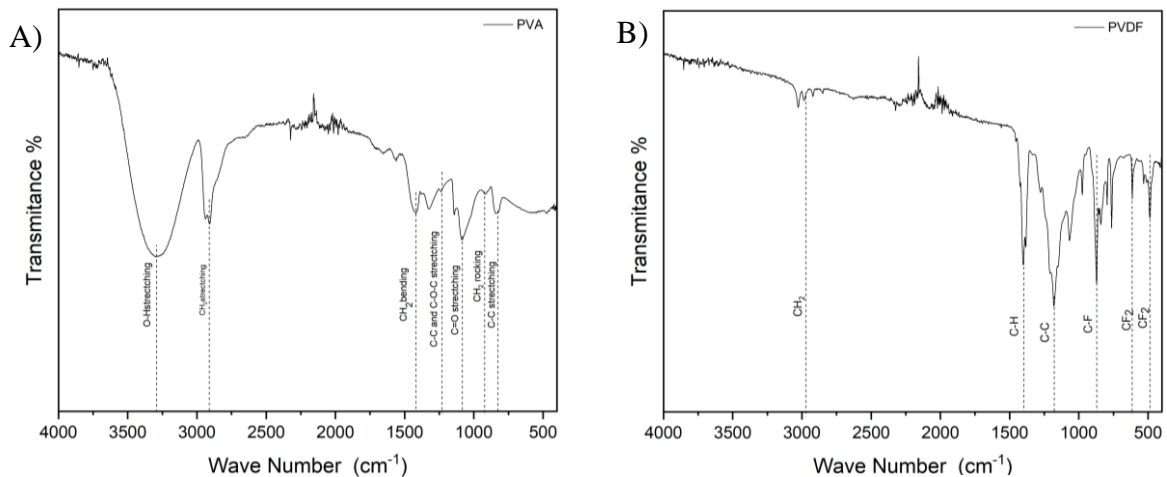
Tabel 4. 3 Referensi data spectrum PVA (Bhat et al., 2005)

Gugus	WAVE NUMBER (cm ⁻¹)
OH <i>stretching</i>	3340
CH ₂ <i>stretching</i>	2942
CH ₂ <i>bending</i>	1430
C-C and C-O-C <i>stretching</i>	1141
C=O <i>stretching</i>	1096
CH ₂ <i>rocking</i>	916
C-C <i>stretching</i>	850

Tabel 4. 4 Referensi data spectrum PVDF (Dong et al., 2016)

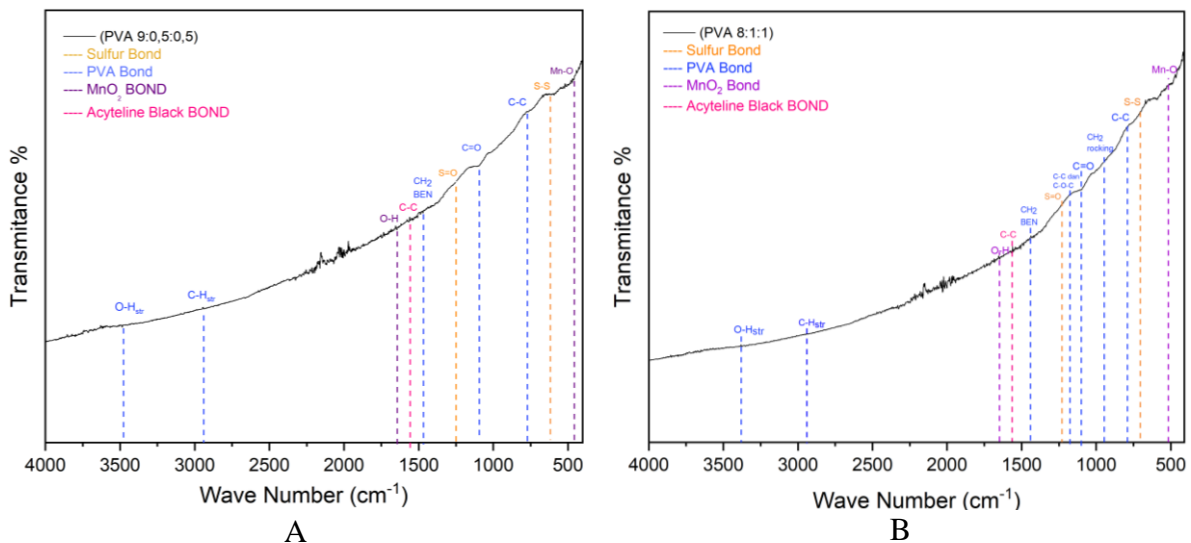
Gugus	WAVE NUMBER (cm ⁻¹)
CH ₂	2980
C-C	1185
CF	840
O-H	3340
C-H	1454
CF ₂	1120-1280
CF ₂	615

PVA dan PVDF murni dilakukan pengujian terlebih dahulu dan dilakukan analisis terhadap spektrum yang didapatkan dengan spektrum referensi dari jurnal, hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.2 untuk PVA murni dan PVDF murni



Gambar 4. 2 Hasil pengujian FTIR A) PVA murni dan B) PVDF murni

Semua peak referensi terdapat pada spesimen PVA dan PVDF murni, kemudian sampel S/MnO₂ di tambahkan PVA atau PVDF sebagai *binder* dan *Acetylene Black* dengan variasi massa 80%:10%:10% dan 90%:5%:5%. Setelah dicampurkan semua kemudian ditambahkan NMP dan di-*stirrer* selama 24 jam. Spesimen yang sudah diaduk kemudian dikeringkan dengan temperatur 60°C, kemudian serbuk spesimen yang telah jadi dilakukan pengujian FTIR. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.3 dan untuk sampel PVA dan 4.4 untuk sampel PVDF

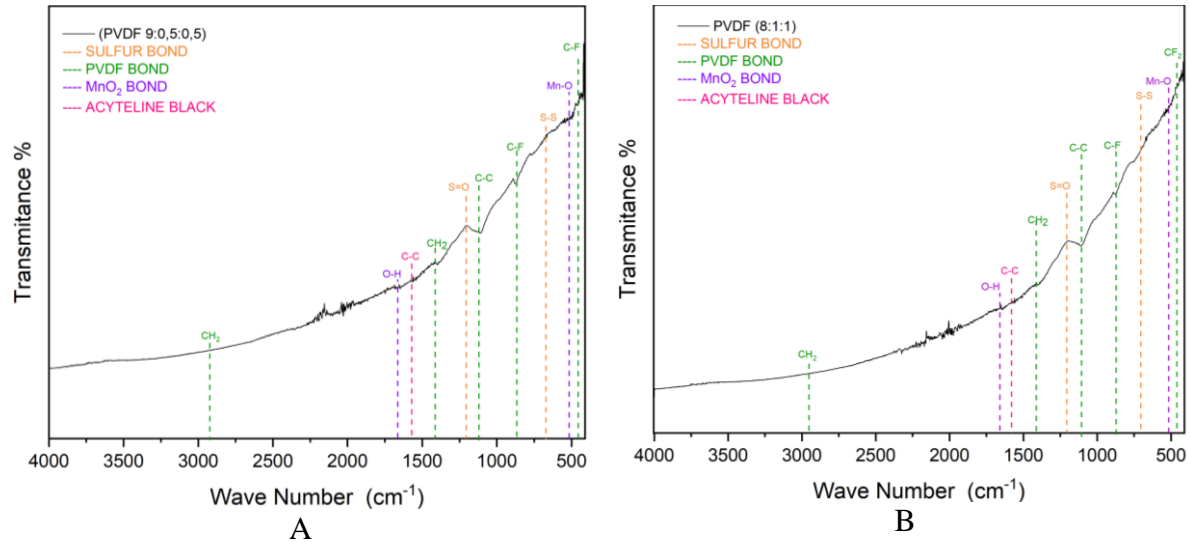


Gambar 4. 3 Hasil pengujian FTIR sampel dengan variasi A) PVA:AB (5%:5%) dan B) PVA:AB (10%:10%)

Hasil dari analisis pengujian PVA presentase 5% memiliki kesamaan pada spektrumnya terhadap jurnal Bhat tahun 2005. Pada peak 3335 cm⁻¹, 2942 cm⁻¹, 1434 cm⁻¹, 1142 cm⁻¹, 1096 cm⁻¹, 917 cm⁻¹, dan 850 cm⁻¹ terdapat ikatan masing-masing yaitu O-H *stretching*, CH₂ *stretching*, CH₂ *bending*, C-C and C-O-C *stretching*, C=O *stretching*, CH₂ *rocking*, C-C *stretching*. Hal ini menunjukkan bahwasannya metode yang digunakan berhasil membentuk *coating* dengan polimerisasi PVA konsentrasi 5% pada permukaan S/MnO₂.

Hasil dari analisis pengujian PVA presentase 10% memiliki kesamaan pada spektrumnya terhadap jurnal Bhat tahun 2005. Pada peak 3337 cm⁻¹, 2941 cm⁻¹, 1431 cm⁻¹,

1140 cm^{-1} , 1094 cm^{-1} , 916 cm^{-1} , dan 850 cm^{-1} terdapat ikatan masing-masing yaitu O-H *stretching*, CH_2 *stretching*, CH_2 *bending*, C-C and C-O-C *stretching*, C=O *stretching*, CH_2 *rocking*, C-C *stretching*. Hal ini menunjukkan bahwasannya metode yang digunakan berhasil membentuk *coating* dengan polimerisasi PVA konsentrasi 10% pada permukaan S/ MnO_2 .



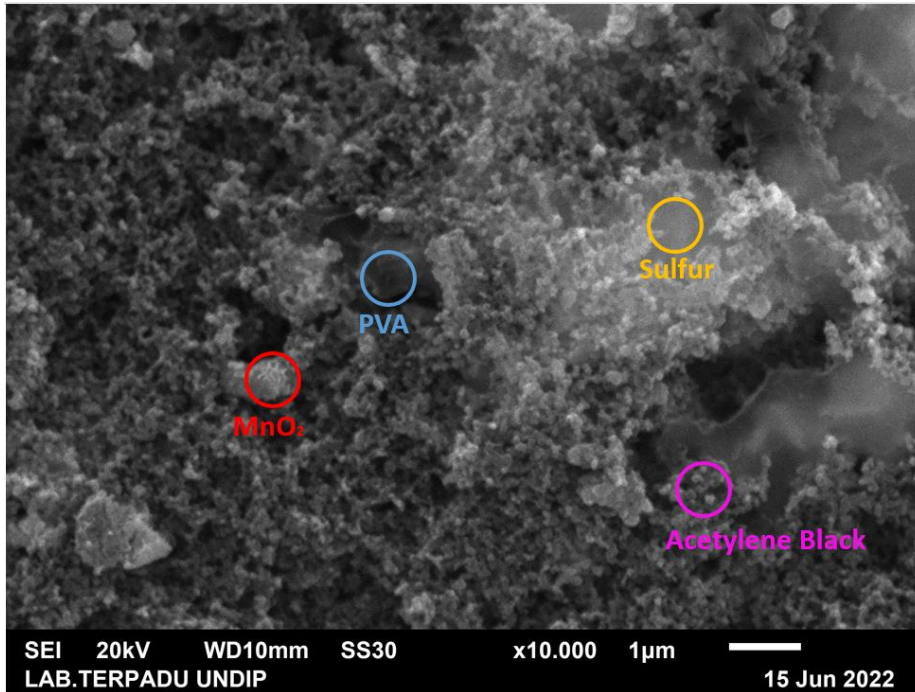
Gambar 4. 4 Hasil pengujian FTIR sampel A) PVDF:AB (5%:5%) dan B) PVDF:AB (10%:10%)

Hasil dari analisis pengujian PVDF presentase 5% memiliki kesamaan pada spektrumnya terhadap jurnal Dong tahun 2016. Pada peak 2982 cm^{-1} , 1453 cm^{-1} , cm^{-1} , 1186 cm^{-1} , 843 cm^{-1} , dan 615 cm^{-1} , terdapat ikatan masing-masing yaitu CH_2 , C-H, C-C, C-F *stretching*, CF_2 . Hal ini menunjukkan bahwasannya metode yang digunakan berhasil membentuk *coating* dengan polimerisasi PVDF presentase 5% pada permukaan S/ MnO_2 .

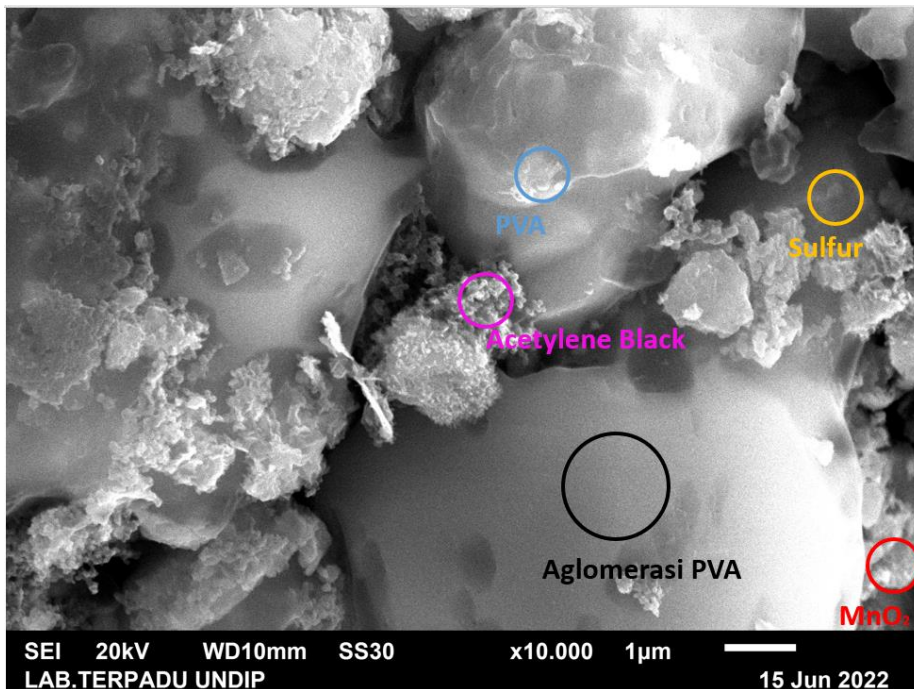
Hasil dari analisis pengujian PVDF konsentrasi 10% memiliki kesamaan pada spektrumnya terhadap jurnal Dong tahun 2016. Pada peak 2981 cm^{-1} , 1453 cm^{-1} , cm^{-1} , 1187 cm^{-1} , 838 cm^{-1} , dan 618 cm^{-1} , terdapat ikatan masing-masing yaitu CH_2 , C-H, C-C, C-F *stretching*, CF_2 . Hal ini menunjukkan bahwasannya metode yang digunakan berhasil membentuk *coating* dengan polimerisasi PVDF konsentrasi 10% pada permukaan S/ MnO_2 .

4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisis SEM

Pengujian SEM digunakan untuk mengetahui karakterisasi bentuk morfologi permukaan dari spesimen. Spesimen yang diuji adalah S/ MnO_2 yang ditambahkan PVA atau PVDF sebagai *binder* dan *Acetylene Black* dengan variasi massa 80%:10%:10% dan 90%:5%:5%. Pengujian SEM menggunakan alat Lab. Terpadu UNDIP, dengan daya SEI=20kV, WD=10mm, dan perbesaran 10.000, 15.000, 30.000 dan 50.000 kali. Perbesaran dilakukan untuk mengetahui morfologi Sulfur, MnO_2 , PVA, PVDF, dan *Acetylene Black* pada S/ MnO_2 yang ditambahkan PVA atau PVDF sebagai *binder* dan *Acetylene Black* dengan variasi massa 80%:10%:10% dan 90%:5%:5%. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.5 untuk variasi S/ MnO_2 :PVA:AB (80%:10%:10%), gambar untuk variasi S/ MnO_2 :PVA:AB (90%:5%:5%) dan gambar 4.6 S/ MnO_2 :PVDF:AB (80%:10%:10%) S/ MnO_2 :PVDF:AB (90%:5%:5%).



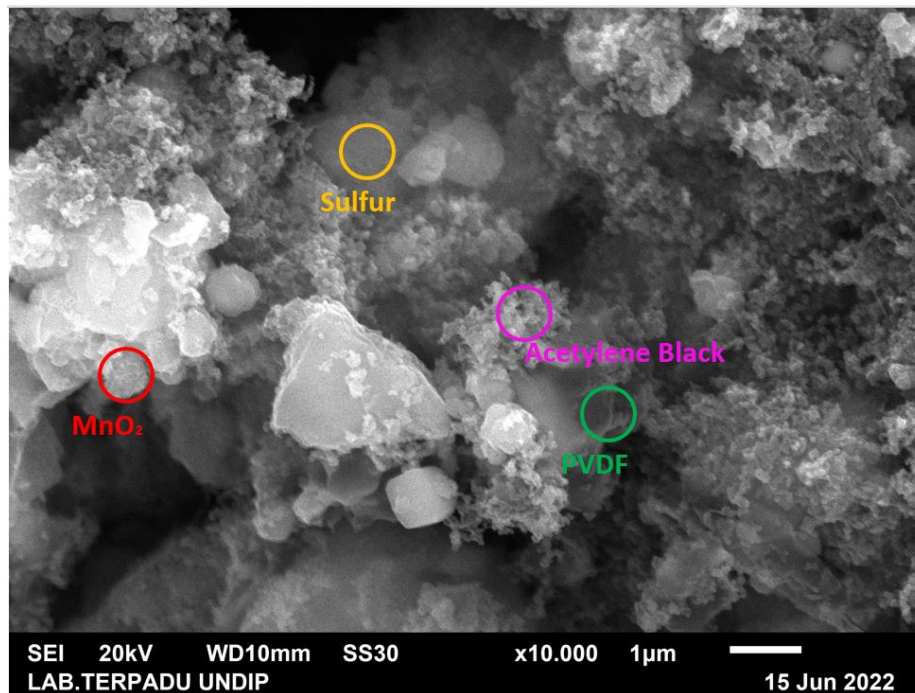
A



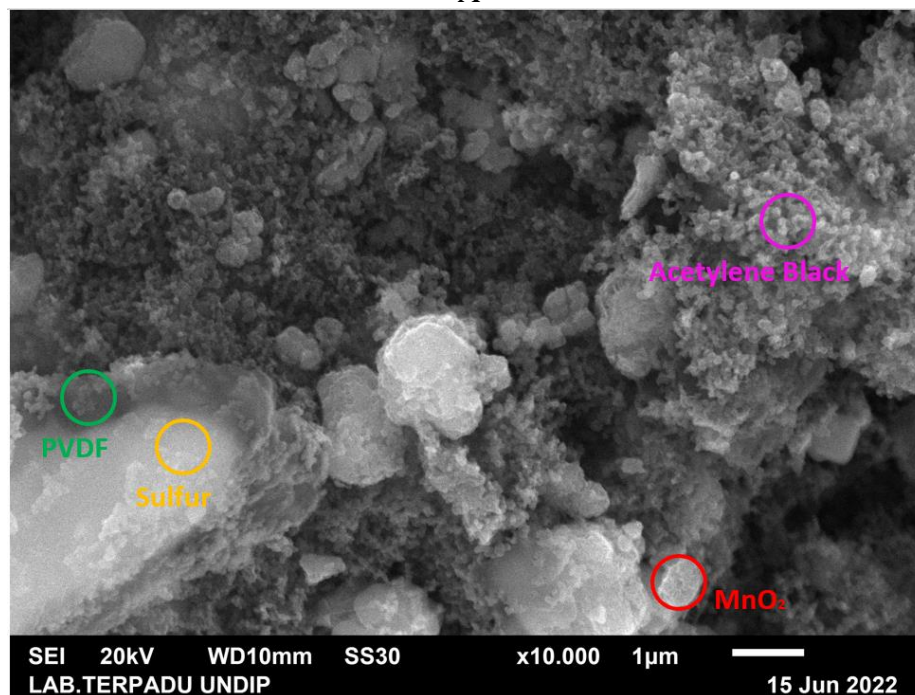
B

Gambar 4.5 Hasil pengujian sampel dengan variasi A) PVA:AB (10%:10%) dan B)PVA:AB (5%:5%)

Pada gambar 4.5 hasil pengujian SEM dengan *binder* PVA, dari gambar hasil pengujian tersebut dapat dilihat terdapat morfologi dari MnO_2 terbentuk fasa birnessite (δ - MnO_2) yang ditandai dengan lingkaran merah, PVA membentuk lapisan tipis di setiap permukaan material yang ditandai dengan lingkaran biru, keberadaan sulfur ditandai dengan lingkaran kuning, *Acetylene Black* ditandai dengan lingkaran ungu. Pada gambar 4.5 B terdapat PVA yang masih menggumpal akibat tidak larut pada NMP sehingga membentuk gundukan yang ditandai dengan lingkaran hitam. Hal ini dapat terjadi akibat waktu pengadukan yang terlalu singkat.



A



B

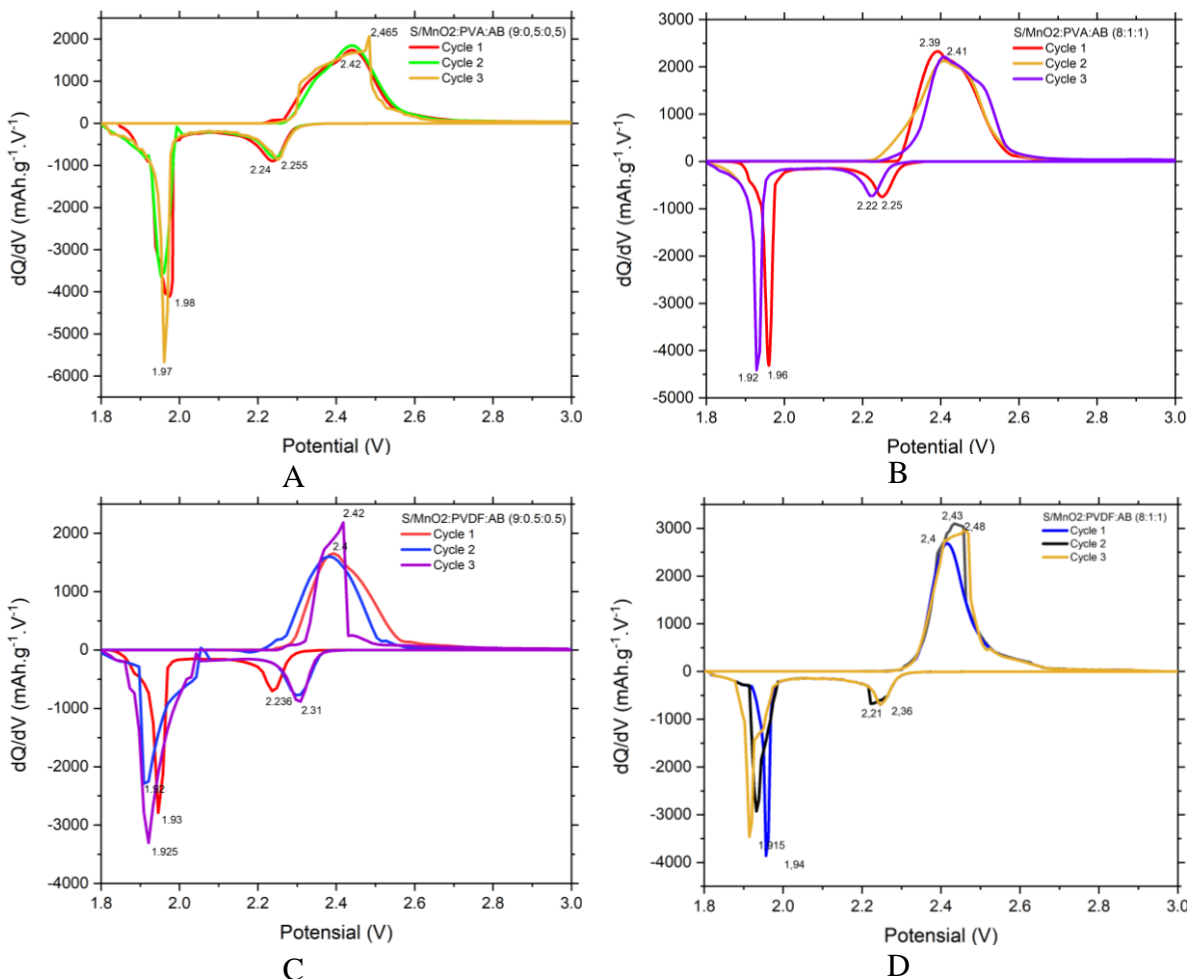
Gambar 4. 6 Hasil pengujian sampel dengan variasi (A) PVDF:AB (10%:10%) dan (B) PVDF:AB (5%:5%).

Pada gambar 4.6 merupakan hasil pengujian SEM dengan *binder* PVDF, dari gambar hasil pengujian tersebut dapat dilihat terdapat morfologi dari MnO₂ terbentuk fasa birnessite (δ -MnO₂) yang ditandai dengan lingkaran merah, PVDF juga berhasil membentuk lapisan tipis pada setiap permukaan material yang ditandai dengan lingkaran hijau, keberadaan sulfur pada hasil pengujian SEM ditandai dengan lingkaran kuning, *Acetylene Black* ditandai dengan lingkaran ungu pada gambar.

4.2 Hasil Pengujian Performa Elektrokimia

4.2.1 Hasil pengujian *Cyclic Voltametry* (CV)

Pengujian CV memiliki tujuan untuk mengetahui terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi dari baterai. Alat yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah NEWARE BTS 4000 5V *series*. Pada pengujian ini grafik akan menunjukkan X-axis sebagai representasi dari Voltage (V) dan Y-axis sebagai representasi (dQ/dV). Rentang Voltage yang digunakan dalam pengujian baterai kali ini adalah 1,8 V-3,0 V (Liang & Nazar, 2016). Pada proses *discharge* terjadi proses interkalasi ion litium bergerak dari anoda ke katoda pada umumnya disebut proses puncak reduksi. Sebaliknya ketikas proses *charge* terjadi proses deinterkalasi yaitu ion litium bergerak dari katoda ke anoda yang pada umumnya disebut puncak oksidasi. Spesimen yang diuji adalah S/MnO₂ yang ditambahkan PVA atau PVDF sebagai *binder* dan *Acetylene Black* dengan variasi massa 80%:10%:10% dan 90%:5%:5%. Setiap spesimen memiliki puncak oksidasi dan reduksi yang berbeda-beda, akan tetapi setiap puncak oksidasi memiliki reaksi yang sama begitu juga dengan reduksi. Reaksi yang terjadi ketika puncak oksidasi seperti persamaan 2.1, untuk reduksi pertama memiliki reaksi seperti persamaan 2.2, dan untuk reduksi kedua memiliki reaksi seperti persamaan 2.3 Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4. 7 Kurva CV (A) S/MnO₂:PVA:AB (90%:5%:5%), (B) S/MnO₂:PVA:AB (80%:10%:10%), (C) S/MnO₂:PVDF:AB (90%:5%:5%), (D) S/MnO₂:PVDF:AB (80%:10%:10%).

Dari kurva CV gambar 4.7 melmplihatkan bahwa pada tiap sampel terjadi oksidasi dan reduksi. Pada gambar A) kurva S/MnO₂:PVA:AB (90%:5%:5%) memiliki puncak oksidasi pada 2.43V serta puncak reduksi pertama pada 2.24V dan reduksi kedua pada 1.97V. Pada gambar 4.7 B) S/MnO₂:PVA:AB (80%:10%:10%) memiliki puncak oksidasi pada 2.39 V serta reduksi pertama pada 2.25 V dan reduksi kedua pada 1.96 V. Pada gambar 4.7 C) S/MnO₂:PVDF:AB (90%:5%:5%) memiliki puncak oksidasi pada 2.4 V serta reduksi pertama pada 2.236 V dan reduksi kedua pada 1.935 V. Pada gambar 4.7 D) S/MnO₂:PVDF:AB (80%:10%:10%) memiliki puncak oksidasi pada 2.39 V serta reduksi pertama pada 2.236 V dan reduksi kedua pada 1.95 V.

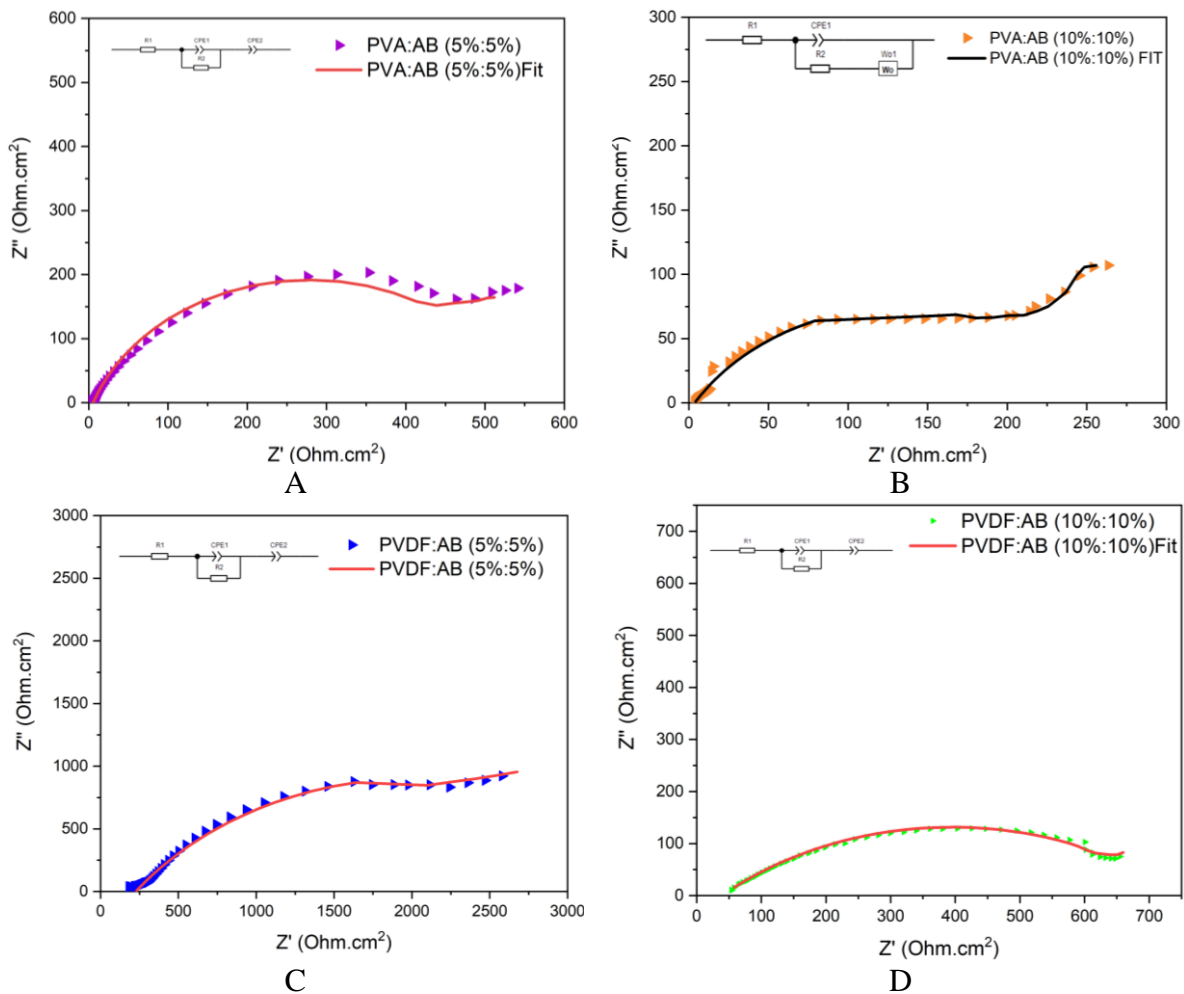
Tabel 4. 5 Puncak oksidasi-reduksi dan jarak oksidasi-reduksi

Spesimen	Oksidasi (V)	Reduksi 1 (V)	Reduksi 2 (V)	Jarak Oksidasi-Reduksi
PVA 9:0.5:0.5	2.42	2.24	1.98	0.44
PVA 8:1:1	2.39	2.25	1.96	0.43
PVDF 9:0.5:0.5	2.4	2.236	1.935	0.47
PVDF 8:1:1	2.4	2.236	1.94	0.46

Dari tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa puncak oksidasi tertinggi didapatkan oleh spesimen S/MnO₂ dengan variasi PVA:AB (90%:5%:5%) dan reduksi terendah diperoleh spesimen S/MnO₂ dengan variasi PVDF:AB (90%:5%:5%). Jarak dari puncak oksidasi ke puncak reduksi bisa disebut sebagai jarak interkalasi dan deinterkalasi, jika semakin kecil jarak interkalasi dan deinterkalasi maka semakin mudah ion litium untuk berinterkalasi maupun berdeinterkalasi semakin cepat sehingga transfer elektron semakin baik. Ketika kemampuan transfer elektron semakin cepat, maka semakin baik juga sifat konduktivitasnya (Ilham et al., 2014). Berdasarkan jurnal ilham maka konduktivitas terbaik diperoleh spesimen dengan variasi PVA:AB (80%:10%:) dengan jarak interkalasi-deinterkalasi sebesar 0.43V kemudian sebesar PVA:AB (90%:5%) 0.44V, kemudian PVDF:AB (80%:10%) dengan jarak 0.46V, dan yang terakhir adalah variasi PVDF:AB (90%:5%) dengan jarak 0.47V.

4.2.2 Hasil pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai impedansi pada baterai Litium Sulfur serta proses interkalasi ion litium yang terjadi pada antara *interface* pada katoda S/MnO₂/PVA/AB dan S/MnO₂/PVDF/AB terhadap larutan elektrolit LiTFSI. Hasil grafik yang dihasilkan berbentuk semi lingkaran dan *slopes*. Data *Nquist Plot* menunjukkan hubungan antara impedansi *real* (Z') pada sumbu-X dengan impedansi *imaginer* (Z'') pada sumbu-Y. Data ini didapatkan dengan dengan frekuensi 10-1,000,000 Hz dan *polarization AC Amplitude* 5mV. Hasil dari pengujian EIS ini akan menghasilkan R_s dan R_{ct} baterai. Hasil EIS juga dipengaruhi oleh karakterisasi baterai dari pengujian XRD, perhitungan ukuran kristalit serta morfologi dari pengujian SEM. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4. 8 Grafik pengujian EIS dengan variasi (A) S/MnO₂:PVA:AB (90%:5%:5%), (B) S/MnO₂:PVA:AB (80%:10%:10%), (C) S/MnO₂:PVDF:AB (90%:5%:5%), (D) S/MnO₂:PVDF:AB (80%:10%:10%).

Dapat dilihat gambar 4.8 bahwa semua grafik pengujian EIS membentuk *semicircle*. Dari gradik tersebut kemudian dianalisis menggunakan rangkaian model *equivalent circuit* yang terdiri dari R_s , R_{ct} , C dan CPE . *Nyquist plot* yang didapatkan dengan pengujian dilakukan *fitting* ke dalam model sirkuit. Grafik hasil fitting terdapat pada gambar 4.8 dengan bentuk garis sedangkan *Nyquist plot* berbentuk segitiga. Nilai dari R_s atau resistansi elektrolit (setara dengan frekuensi tinggi pada Z'), R_{ct} adalah resistansi transfer muatan (setara dengan diameter setengah lingkaran), C adalah kapasitor atau kapasitansi permukaan, CPE merupakan elemen fase konstan, dan W_o adalah koefisien warburg yang menandakan difusi ion. Nilai dari *equivalent circuit* dan konduktivitas (S) dengan ketebalan katoda 500 mikron dengan persamaan 3.7 dapat dilihat pada Tabel 4.6

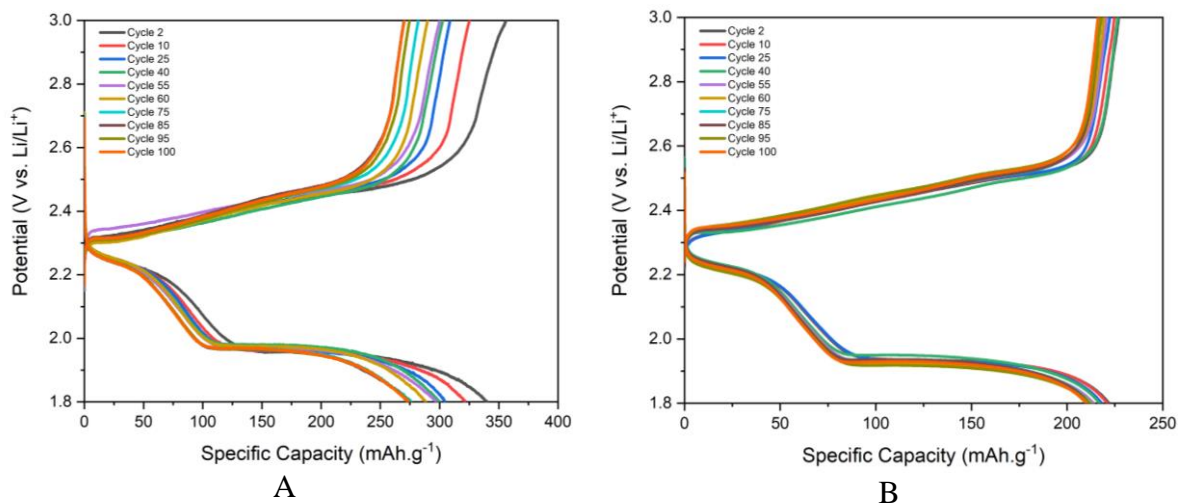
Tabel 4. 6 Perbandingan nilai Rs dan Rct tiap variasi

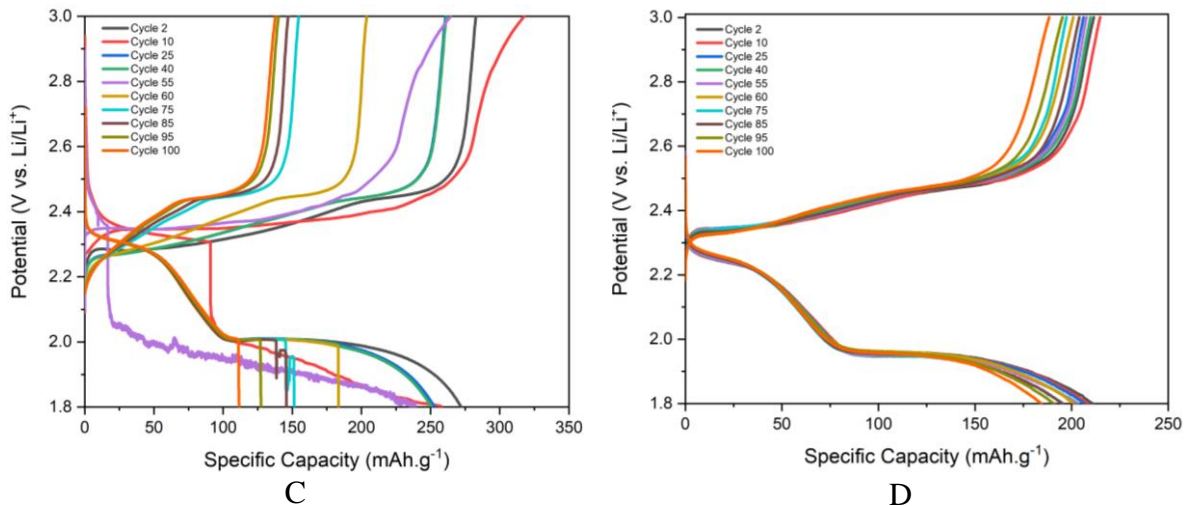
Variasi Ukuran Partikel	Rs (Ohm)	Rct (Ohm)	S (Konduktivitas)
PVA:AB (5%:5%)	4.2575	463.635	1.898×10^{-4}
PVA:AB (10%:10%)	3.34003	200.556	9.236×10^{-5}
PVDF:AB (5%:5%)	182.331	2116.7	7.632×10^{-5}
PVDF:AB (10%:10%)	54.4065	640.836	1.938×10^{-5}

Dari tabel 4.6 didapatkan nilai Rct juga dipengaruhi oleh ukuran kristalit. Hal ini dibuktikan dengan spesimen PVA:AB (10%:10%) memiliki ukuran kristalit paling rendah dan juga memiliki nilai Rct yang rendah yaitu PVA:AB (10%:10%) dengan nilai 200.556 ohm, PVA:AB (5%:5%) 463.635, PVDF:AB (10%:10%) 640.836, PVDF:AB (5%:5%) 2116.7. Hal ini sesuai teori dari jurnal Fylgare 2021 bahwa ukuran kristalit semakin kecil maka nilai Rct akan semakin kecil sehingga transfer elektron akan semakin mudah (Flygare & Svensson, 2021). Spesimen dengan nilai Rct paling rendah akan memiliki proses interkalasi dan deinterkalasi yang paling baik.

4.2.3 Hasil Pengujian *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD)

Pengujian GCD memiliki tujuan untuk mengetahui kapasitas *charge-discharge* serta sifat *cycle* dari baterai litium-sulfur. Pengujian GCD menggunakan alat NEWARE BTS 4000 5V *series*. Katoda yang digunakan pada pengujian kali ini adalah S/MnO₂ yang ditambahkan PVA atau PVDF sebagai *binder* dan *Acetylene Black* dengan variasi massa 80%:10%:10% dan 90%:5%:5% dengan anoda yang sama yaitu lithium. Parameter yang digunakan pada pengujian ini yaitu rentang voltage 1,8V-3V dan *C-rate* sebesar 0,2C. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9.





Gambar 4. 9 Grafik pengujian GCD dengan variasi (A) S/MnO₂:PVA:AB (90%:5%:5%), (B) S/MnO₂:PVA:AB (80%:10%:10%), (C) S/MnO₂:PVDF:AB (90%:5%:5%), (D) S/MnO₂:PVDF:AB (80%:10%:10%).

Dari gambar 4.9 dapat dilihat baterai yang memiliki *specific capacity* terendah adalah baterai dengan variasi PVDF:AB (10%:10%) selama 100 cycle kemampuan discharge terbesar hanya 210,761 mAh/g dan dilanjutkan dengan PVA:AB (10%:10%) kapasitas discharge terbesar 221,909 mAh/g, kemudian variasi PVDF:AB (5%:5%) kapasitas discharge terbesar 272.098 mAh/g, dan yang paling besar adalah variasi PVA:AB (5%:5%) dengan kapasitas discharge terbesar 340,145 mAh/g. Hal ini dapat dipengaruhi karena variasi massa katoda aktif yang digunakan S/MnO₂ semakin tinggi kandungan yang berada dalam katoda maka akan semakin meningkatkan *specific capacity* yang dimiliki baterai tersebut. Dari data yang ditunjukkan terlihat bahwa tiap variasi PVA maupun PVDF yang menggunakan variasi massa S/MnO₂ lebih banyak maka akan memiliki *specific capacity* yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan teori dari jurnal Kong 2018 (Kong et al., 2018). Akan tetapi semakin tinggi jumlah sulfur yang dikandung tidak menjamin degradasi tiap *cyclenya* membaik, hal ini dibuktikan pada gambar 4.9 spesimen dengan variasi PVA konsentrasi 10% memiliki degradasi tiap cycle yang lebih baik dari pada variasi lainnya. Perhitungan degradasi dilakukan menggunakan persamaan 3.7. Data perhitungan presentase degradasi dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Perhitungan presentase degradasi baterai tiap variasi

Variasi	Kapasitas (mAh.g ⁻¹)		Presentase Degradasi (%)
	Cycle 2 Discharge	Cycle 100 Discharge	
PVA:AB (5%:5%)	340.144	273.599	19.563
PVA:AB (10%:10%)	221.909	209.951	5.388
PVDF:AB (5%:5%)	272.098	111.5737	58.995
PVDF:AB (10%:10%)	210.776	184.518	12.458

Dari tabel 4.7 dapat dilihat bahwa presentase degradasi terendah dimiliki oleh variasi PVA:AB (10%:10%) dengan nilai 5,388%, kemudian spesimen PVDF:AB (10%:10%) dengan presentase 12,457%, kemudian spesimen dengan variasi PVA:AB (5%:5%) dengan presentase 19,563%, dan yang paling tinggi adalah spesimen PVDF:AB (5%:5%) dengan presentase 58,995%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa *binder* PVA memiliki presentase degradasi lebih kecil dibanding dengan binder PVDF pada setiap variasinya. Konsentrasi massa binder yang digunakan dalam katoda juga berpengaruh terhadap presentase degradasi, pada konsentrasi 10% tiap binder memiliki degradasi yang lebih baik daripada 5%. Hal ini sesuai dengan teori dari junal Junbin 2020 yang menyatakan PVA memiliki kemampuan yang lebih baik daripada PVDF dalam mengikat polisulfida (Liao et al., 2020).

Pengujian ini juga dapat mengetahui efisiensi kolombik dari tiap siklus, Nilai efisiensi kolombik dihitung dengan persamaan 3.6. Didapat kan perhitungan seperti tabel 4.8

Tabel 4. 8 Perhitungan rata-rata efisiensi kolombik

Variasi	Cycle	Charge (mAh.g ⁻¹)	Discharge (mAh.g ⁻¹)	Efisiensi Kolombik (%)	Rata- Rata (%)
PVA:AB (5%:5%)	2	355.157	340.145	95.773	97.234
	25	313.904	304.505	97.006	
	55	302.155	296.593	98.159	
	75	284.09	275.708	97.049	
	95	277.627	272.562	98.176	
PVA:AB (10%:10%)	2	225.585	221.909	98.371	97.914
	25	222.337	218.517	98.282	
	55	220.696	214.855	97.353	
	75	217.524	212.896	97.873	
	95	216.703	211.696	97.69	
PVDF:AB (5%:5%)	2	282.767	272.099	96.227	94.48
	25	260.786	252.988	97.01	
	55	264.565	239.068	90.362	
	75	154.692	151.402	97.873	
	95	140.087	127.38	90.929	
PVDF:AB (10%:10%)	2	215.482	210.777	97.816	96.504
	25	210.567	205.341	97.518	
	55	213.723	202.8	94.889	
	75	199.339	191.397	96.016	
	95	196.266	188.961	96.2781	

Dari efisiensi kolombik nilai tertinggi diperoleh oleh variasi PVA:AB (10%:10%) dengan jarak nilai sebesar 97.914% kemudian PVA:AB (5%:5%) sebesar 97.234%, kemudian PVDF:AB (10%:10%) 96.504% , dan yang terakhir adalah variasi PVDF:AB (5%:5%) 94.48%. Semakin tinggi nilai efisiensi kolombik akan berpengaruh pada konduktivitasnya yang juga semakin membaik (Tornheim, 2020). Dari tabel 4.7 dapat disimpulkan urutan baterai dengan konduktivitas terbaik yaitu PVA:AB (10%:10%) , PVA:AB (5%:5%), PVDF:AB (10%:10%), dan PVDF:AB (5%:5%).

Pengujian GCD ini membuktikan data dari pengujian karakterisasi material memiliki hasil yang sejalan dengan pengujian elektrokiima. Dimulai dari ukuran kristalit terkecil dimiliki spesimen PVA:AB (10%:10%) sehingga memudahkan proses deinterkalasi dan interkalasi ion Li^+ . Ukuran kristalit akan mempengaruhi nilai RCT pada pengujian EIS, semakin kecil ukuran kristalit maka semakin kecil nilai RCT yang didapatkan. Hal ini mengakibatkan semakin kecilnya RCT maka memudahkan transfer elektron sehingga meningkatkan konduktivitasnya. Hal ini terbukti dari pengujian CV yang mana jarak interkalasi-deinterkalasi terpendek dimiliki oleh spesimen PVA:AB (10%:10%), sehingga membuat transfer elektron lebih cepat yang berdampak pada efisiensi kolombik. Semakin tinggi presentase efisiensi kolombik maka semakin sedikit selisih antara kapasitas *charge-discharge*, hal ini dikarenakan semakin sedikitnya hambatan yang dimiliki oleh baterai dan tingginya nilai konduktivitas yang dimiliki menyebabkan transfer elektron semakin efektif dan efisien.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil untuk penelitian ini adalah.

1. Penambahan *Acetylene Black* dan PVA/PVDF (10%:10%) dapat mengecilkan ukuran *Crytallite Size*, semakin kecilnya ukuran kristalit maka semakin mudah transfer elektron terjadi sehingga dapat meningkatkan performa elektrokimianya. Pada pengujian FTIR ditemuakn ikatan PVA maupun PVDF dalam spesimen S/MnO₂/PVA/AB dan S/MnO₂/PVDF/AB. Pada pengujian SEM PVA maupun PVDF diketahui melapisi permukaan S, MnO₂, dan AB
2. Kenaikan presentase material aktif katoda pada S/MnO₂/PVA/AB dan S/MnO₂/PVDF/AB dapat meningkatkan kapastas spesifik dari baterai tersebut. Kapasitas terbesar didapatkan dengan variasi PVA;AB (5%:5%) sebesar 340.145 mAh/g.
3. Penggunaan PVA sebagai *binder* pada baterai Lithium-Sulfur dengan katoda S/MnO₂/PVA/AB dapat memurunkan degradasi kapasitas tiap siklusnya persentase degradasi yang didapatkan selama 100 siklus sebesar 5,388%. Untuk itu material ini layak menjadi kandidat sebagai katoda baterai lithium sulfur.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah.

1. Melakukan *coating slurry* pada aluminium dengan rata dan benar supaya tidak retak.
2. Penyimpanan Lithium sebaiknya tidak dicampur dengan elektrolit
3. Memastikan fasa birnessite dengan intensitas yang tinggi untuk meningkatkan performa elektrokimia

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, S. B., Abdullah, O. G., Hussein, S. A., & Ahmed, H. M. (2017). Effect of PVA blending on structural and ion transport properties of CS:AgNt-based polymer electrolyte membrane. *Polymers*, 9(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym9110622>
- Baskoro Farid, Widodo Arif, & Kholis Nur. (2021). (31) Analisa Performa Baterai Lithium-air, Lithium-sulfur, All-Solid-State. *Jurnal Teknik Elektro*, 10 No 03, 597–607.
- Bhat, N. v., Nate, M. M., Kurup, M. B., Bambole, V. A., & Sabharwal, S. (2005). Effect of γ -radiation on the structure and morphology of polyvinyl alcohol films. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 237(3–4), 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.04.058>
- Bu, P., Liu, S., Lu, Y., Zhuang, S., Wang, H., & Tu, F. (2012). Effects of carbon black on the electrochemical performance of lithium-organic coordination compound batteries. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(5), 4617–4624.
- Buqa, H., Holzapfel, M., Krumeich, F., Veit, C., & Nov, P. (2006). *Study of styrene butadiene rubber and sodium methyl cellulose as binder for negative electrodes in lithium-ion batteries*. 161, 617–622. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.03.073>
- Choi, Y. J., Kim, K. W., Ahn, H. J., & Ahn, J. H. (2008). Improvement of cycle property of sulfur electrode for lithium/sulfur battery. *Journal of Alloys and Compounds*, 449(1–2), 313–316. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.02.098>
- Dong, H., Xiao, K., Tang, X., Zhang, Z., Dai, J., Long, R., & Liao, W. (2016). Preparation and characterization of polyurethane (PU)/polyvinylidene fluoride (PVDF) blending membrane. *Desalination and Water Treatment*, 57(8), 3405–3413. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.988659>
- Doñoro, Á., Cíntora-Juárez, D., & Etacheri, V. (2019). Carbon nanomaterials for rechargeable lithium-sulfur batteries. In *Carbon Based Nanomaterials for Advanced Thermal and Electrochemical Energy Storage and Conversion*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814083-3.00011-1>
- Flygare, M., & Svensson, K. (2021). Influence of crystallinity on the electrical conductivity of individual carbon nanotubes. *Carbon Trends*, 5, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2021.100125>
- Gaikwad, A. M., & Arias, A. C. (2017). Understanding the Effects of Electrode Formulation on the Mechanical Strength of Composite Electrodes for Flexible Batteries. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(7), 6390–6400. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b14719>
- Guo, Z., Xu, X., Xiang, Y., Lu, S., & Jiang, S. P. (2015). New anhydrous proton exchange membranes for high-temperature fuel cells based on PVDF-PVP blended polymers. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(1), 148–155. <https://doi.org/10.1039/c4ta04952g>
- Hashem, A. M., Abuzeid, H. M., Narayanan, N., Ehrenberg, H., & Julien, C. M. (2011). Synthesis, structure, magnetic, electrical and electrochemical properties of Al, Cu and Mg doped MnO₂. *Materials Chemistry and Physics*, 130(1–2), 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.04.074>
- Hashemzadeh, F., Mehdi Kashani Motlagh, M., & Maghsoudipour, A. (2009). A comparative study of hydrothermal and sol-gel methods in the synthesis of MnO₂ nanostructures. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 51(2), 169–174. <https://doi.org/10.1007/s10971-009-1978-2>
- He, J., & Zhang, L. (2018). Polyvinyl alcohol grafted poly (acrylic acid) as water-soluble binder with enhanced adhesion capability and electrochemical performances for Si anode. *Journal of Alloys and Compounds*, 763, 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.286>

- Jalvandi, J. (2016). *Novel chemical and physical approaches for sustainable drug release from biodegradable electrospun nanofibres* *Novel Chemical and Physical Approaches for Sustainable*. November, 1–166. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26541.69607>
- Juračka, M., Vondrák, J., Sedlaříková, M., & Gottwald, T. (2015). Lithium Sulphur Batteries. *ECS Transactions*, 70(1), 283–288. <https://doi.org/10.1149/07001.0283ecst>
- Kong, L., Jin, Q., Zhang, X., Li, B., Chen, J., Zhu, W., Huang, J., & Zhang, Q. (2018). PT Beijing Key Laboratory of Green Chemical Reaction Engineering and Technology Department of Chemical. *Journal of Energy Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2018.12.012>
- Konsentrasi, P., Alkohol, P., Azmy, I., Teknik, J., Industri, F. T., & Sepuluh, I. T. (2014). *Proses Sol-Gel Sebagai Anoda Untuk Baterai Ion Lithium Tipe Aqueous Elektrolit*. 3(2), 1–6.
- Li, W., Xing, Y., Xing, X., Li, Y., Yang, G., & Xu, L. (2013). PVDF-based composite microporous gel polymer electrolytes containing a novel single ionic conductor SiO₂(Li⁺). *Electrochimica Acta*, 112, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.08.179>
- 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>
- Liao, J., Liu, Z., Wang, J., & Ye, Z. (2020). Cost-Effective Water-Soluble Poly(vinyl alcohol) as a Functional Binder for High-Sulfur-Loading Cathodes in Lithium-Sulfur Batteries. *ACS Omega*, 5(14), 8272–8282. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00666>
- Liu, J., Zhang, Q., & Sun, Y. K. (2018). Recent progress of advanced binders for Li-S batteries. *Journal of Power Sources*, 396(May), 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.05.096>
- Liu, S., Zhong, H., Zhang, C., Yan, X., & Zhao, X. (2019). Improving the processability and cycling stability of nano-LiFePO₄ cathode by using PVDF / TX binary binder. *Composite Interfaces*, 00(00), 1–12. <https://doi.org/10.1080/09276440.2019.1578574>
- Ma, J., Zhang, C., Yang, F., Zhang, X., Suss, M. E., Huang, X., & Liang, P. (2020). Carbon Black Flow Electrode Enhanced Electrochemical Desalination Using Single-Cycle Operation. *Environmental Science and Technology*, 54(2), 1177–1185. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04823>
- Manthiram, A., Chung, S. H., & Zu, C. (2015). Lithium-sulfur batteries: Progress and prospects. *Advanced Materials*, 27(12), 1980–2006. <https://doi.org/10.1002/adma.201405115>
- Mayer, J. K., Almar, L., Asylbekov, E., Haselrieder, W., Kwade, A., Weber, A., & Nirschl, H. (2020). Influence of the Carbon Black Dispersing Process on the Microstructure and Performance of Li-Ion Battery Cathodes. *Energy Technology*, 8(2). <https://doi.org/10.1002/ente.201900161>
- Mostafa Shawky, E. M. Elsayed, Ibrahim Ahmed, & Atef Y. Shenouda. (2016). *A Study on Synthesis and Characterization of Some (I-IV-VI) Groups Compounds for Solar Cells Energy Application For Partial Fulfillment of the Requirements for The Master Degree*. January. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21918.79685>
- Nugraha, A., Ardin, M. Bin, Rezani, R., Perawatan, T., Politeknik, M., Subang, N., Arif, S., Hakim, R., Islamic, N., & Barat, J. (2017). *Jurnal Rekayasa Mesin 2017*. 8(3), 135–139.
- Nuha, M. A. (2014). Synthesis, grain growth and physical properties of nanoparticulate manganese oxides. *J. Chem. Physic*, 125–221.
- Prasad, G., Sathiyathan, P., Prabu, A. A., & Kim, K. J. (2017). Piezoelectric characteristics of electrospun PVDF as a function of phase-separation temperature and metal salt content. *Macromolecular Research*, 25(10), 981–988. <https://doi.org/10.1007/s13233-017-5127-4>

- Qin, Z., Chen, X., Ouyang, N., Lan, S., Jiang, G., Zhang, J., & Zhang, Q. (2019). Characterisation of hexagonal birnessite with a new and rapid synthesis method-Comparison with traditional synthesis. *RSC Advances*, 9(45), 25951–25956. <https://doi.org/10.1039/c9ra03332g>
- Qiu, X., Hua, Q., Zheng, L., & Dai, Z. (2020). Study of the discharge/charge process of lithium-sulfur batteries by electrochemical impedance spectroscopy. *RSC Advances*, 10(9), 5283–5293. <https://doi.org/10.1039/c9ra10527a>
- Saridewi, N., Arif, S., & Alif, A. (2015). Sintesis Nanomaterial Mangan Oksida dengan Metode Bebas Pelarut. *Jurnal Kimia VALENSI*, 1(November), 117–123. <https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3147>
- Seregin, A. Y., Prosekov, P. A., Chukhovskiy, F. N., Volkovskiy, Y. A., Blagov, A. E., & Kovalchuk, M. v. (2019). Experimental and Theoretical Study of the Triple-Crystal High-Resolution X-Ray Diffraction Scheme in Reciprocal Space Mapping Technique. *Crystallography Reports*, 64(4), 545–552. <https://doi.org/10.1134/S1063774519040175>
- Sun, K., Matarasso, A. K., Epler, R. M., Tong, X., Su, D., Marschilok, A. C., Takeuchi, K. J., Takeuchi, E. S., & Gan, H. (2018). *Effect of Electrolyte on High Sulfur Loading Li-S Batteries*. 165(2), 416–423. <https://doi.org/10.1149/2.0071803jes>
- Sun, Y., Xu, C., Li, B., Xu, J., He, Y., Du, H., & Kang, F. (2014). Synthesis of single-crystalline LiMn₂O₄ with different dimensional nanostructures for Li-ion batteries. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(11), 6387–6401.
- Sunarti, Sunaryo, F. K., Prasetyo, B. E., Kurniadi, C. B., Setiadi, I., Rabbani, Q., Fajarwati, P. A., & Hernawati, S. (2020). Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi. *Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi Tahun 2020*, v.
- Sundén, B. (2019a). Applications of batteries. *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells*, 111–122. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816950-6.00007-5>
- Sundén, B. (2019b). Battery technologies. *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells*, 57–79. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816950-6.00004-x>
- Sunden, B. (2019). Chapter 1-Introduction and Backgorund. *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells*, 1, 1–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816950-6.00001-4>
- Toigo, C., Singh, M., Gmeiner, B., Biso, M., & Pettinger, K.-H. (2020). A Method to Measure the Swelling of Water-Soluble PVDF Binder System and Its Electrochemical Performance for Lithium Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(2), 020514. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab68c2>
- Tornheim, Adam & O'Hanlon, Daniel. (2020). What do Coulombic Efficiency and Capacity Retention Truly Measure? A Deep Dive into Cyclable Lithium Inventory, Limitation Type, and Redox Side Reactions. *Journal of the Electrochemical Society*. 167. [10.1149/1945-7111/ab9ee8](https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9ee8).
- Winter, M., & Brodd, R. J. (2004). What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, 104(10), 4245–4269. <https://doi.org/10.1021/cr020730k>
- Yang, X., Gao, X., Sun, Q., Jand, S. P., Yu, Y., Zhao, Y., Li, X., Adair, K., Kuo, L., Rohrer, J., Liang, J., & Lin, X. (2019). *Promoting the Transformation of Li₂S₂ to Li₂S: Significantly Increasing Utilization of Active Materials for High-Sulfur- Loading Li – S Batteries*. 1901220, 1–10. <https://doi.org/10.1002/adma.201901220>
- Zhang, S. S. (2013a). Liquid electrolyte lithium/sulfur battery: Fundamental chemistry, problems, and solutions. *Journal of Power Sources*, 231, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.12.102>
- Zhang, S. S. (2013b). Liquid electrolyte lithium/sulfur battery: Fundamental chemistry, problems, and solutions. *Journal of Power Sources*, 231, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.12.102>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Referensi Peak XRD Sulfur Name and formula

Reference code: 96-901-1364
Mineral name: Sulfur
Compound name: Sulfur
Common name: Sulfur
Chemical formula: S_{128.00}

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: F d d d
Space group number: 70
a (Å): 10.4650
b (Å): 12.8660
c (Å): 24.4860
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Calculated density (g/cm³): 2.07
Volume of cell (10⁶ pm³): 3296.86
RIR: 1.92

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
User Mineral
Quality: None ()

Comments

Creation Date: 2/9/2021 1:07:53 PM
Modification Date: 2/9/2021 1:07:53 PM
Publication title: Refinement of the structure of orthorhombic sulfur, alpha-S8
Locality: synthetic Sample: at T = 298 K Note: alpha phase Note:
coordinate positions of atoms correspond to high-angle refinements
COD database code: 9011363

References

Structure: Rettig, S. J., Trotter, J., *Acta Crystallographica, Section C*, **43**, 2260 - 2262, (1987)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	7.70600	0.744	6.8
2	0	0	4	6.12150	0.936	0.0
3	1	1	3	5.75597	0.995	15.2
4	0	2	2	5.69473	1.006	6.0
5	2	0	2	4.81149	1.191	1.8
6	1	1	5	4.19336	1.366	2.4
7	2	2	0	4.05926	1.412	12.4
8	1	3	1	3.91725	1.463	13.7
9	2	2	2	3.85300	1.487	100.0
10	1	3	3	3.56889	1.605	7.3
11	0	2	6	3.44607	1.663	39.7
12	2	2	4	3.38304	1.694	2.7
13	3	1	1	3.33540	1.718	21.2
14	2	0	6	3.21798	1.781	24.1
15	0	4	0	3.21650	1.781	11.8
16	1	1	7	3.21249	1.784	12.4
17	3	1	3	3.11239	1.841	20.9
18	1	3	5	3.08317	1.858	14.7
19	0	0	8	3.06075	1.872	1.0
20	2	2	6	2.87799	1.991	0.0
21	0	4	4	2.84736	2.012	17.8
22	3	1	5	2.77438	2.065	0.2
23	3	3	1	2.68980	2.130	2.1
24	2	4	2	2.67402	2.143	1.0
25	1	3	7	2.62408	2.184	11.3
26	4	0	0	2.61625	2.190	2.7
27	1	1	9	2.57967	2.221	0.5
28	3	3	3	2.56867	2.231	3.6
29	2	4	4	2.50104	2.291	7.8
30	1	5	1	2.48586	2.305	3.8
31	2	2	8	2.44388	2.345	0.0
32	3	1	7	2.42574	2.362	13.0
33	4	0	4	2.40574	2.382	2.3
34	1	5	3	2.38931	2.398	0.0
35	4	2	2	2.37736	2.410	4.1
36	3	3	5	2.36859	2.419	4.5
37	0	2	10	2.28843	2.504	6.8
38	2	4	6	2.27493	2.519	0.0
39	4	2	4	2.25333	2.543	0.2
40	1	3	9	2.24394	2.554	0.1
41	1	5	5	2.22577	2.574	0.5
42	2	0	10	2.21778	2.584	0.1
43	0	4	8	2.21729	2.584	1.4
44	1	1	11	2.14677	2.669	3.4
45	3	3	7	2.14041	2.677	0.6
46	3	1	9	2.11611	2.708	6.4
47	0	6	2	2.11218	2.713	7.5
48	2	2	10	2.09668	2.733	1.9
49	4	2	6	2.08376	2.750	0.1
50	3	5	1	2.06340	2.777	0.0
51	5	1	1	2.05853	2.784	1.4
52	2	4	8	2.04156	2.807	1.1
53	0	0	12	2.04050	2.808	0.0
54	1	5	7	2.03328	2.818	0.2
55	4	4	0	2.02963	2.823	0.0
56	3	5	3	2.00717	2.855	1.6

LAPORAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FI-ITS



57	5	1	3	2.00269	2.861	0.1
58	4	4	2	2.00230	2.862	0.7
59	4	0	8	1.98873	2.881	3.7
60	2	6	0	1.98418	2.888	0.0
61	2	6	2	1.95862	2.926	2.7
62	1	3	11	1.94142	2.952	0.0
63	4	4	4	1.92650	2.974	1.0
64	3	3	9	1.91866	2.987	0.0
65	3	5	5	1.90726	3.004	1.3
66	5	1	5	1.90342	3.011	6.0
67	4	2	8	1.90001	3.016	2.0
68	0	6	6	1.89824	3.019	1.3
69	2	6	4	1.88750	3.036	0.2
70	5	3	1	1.87543	3.055	0.0
71	3	1	11	1.85684	3.086	0.9
72	1	5	9	1.84035	3.114	1.1
73	1	1	13	1.83481	3.123	0.9
74	5	3	3	1.83291	3.126	0.2
75	2	4	10	1.82584	3.138	1.8
76	2	2	12	1.82312	3.143	3.8
77	4	4	6	1.81729	3.153	0.0
78	1	7	1	1.80536	3.174	0.5
79	2	6	6	1.78445	3.211	0.0
80	3	5	7	1.78193	3.216	12.0
81	5	1	7	1.77880	3.221	0.1
82	1	7	3	1.76734	3.242	0.4
83	5	3	5	1.75589	3.264	6.9
84	6	0	2	1.72673	3.319	5.3
85	0	4	12	1.72303	3.326	3.8
86	4	2	10	1.72248	3.327	1.9
87	3	3	11	1.71913	3.333	1.2
88	1	3	13	1.70160	3.368	0.0
89	1	7	5	1.69799	3.375	7.6
90	4	4	8	1.69152	3.388	0.0
91	0	2	14	1.68773	3.395	0.2
92	6	2	0	1.68339	3.404	0.0
93	6	2	2	1.66770	3.436	0.2
94	2	6	8	1.66494	3.442	1.6
95	1	5	11	1.66212	3.448	0.8
96	2	0	14	1.65879	3.455	0.2
97	5	3	7	1.65664	3.459	1.8
98	3	5	9	1.64777	3.478	5.2
99	5	1	9	1.64529	3.483	0.7
100	3	1	13	1.64379	3.486	0.8
101	4	6	2	1.64344	3.487	0.1
102	2	4	12	1.63659	3.501	0.3
103	6	2	4	1.62314	3.531	2.7
104	3	7	1	1.62251	3.532	4.1
105	5	5	1	1.62015	3.537	1.3
106	0	6	10	1.61318	3.552	0.4
107	4	0	12	1.60899	3.562	1.1
108	0	8	0	1.60825	3.563	0.0
109	1	7	7	1.60775	3.564	0.0
110	2	2	14	1.60625	3.568	4.5
111	6	0	6	1.60383	3.573	0.1
112	4	6	4	1.60075	3.580	0.3
113	1	1	15	1.60037	3.581	2.1
114	3	7	3	1.59475	3.593	1.5
115	5	5	3	1.59250	3.598	0.4

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

116	4	4	10	1.56261	3.667	1.5
117	4	2	12	1.56091	3.671	0.4
118	6	2	6	1.55619	3.682	0.0
119	0	8	4	1.55546	3.684	0.1
120	5	3	9	1.54719	3.704	0.3
121	3	3	13	1.54594	3.707	0.2
122	3	7	5	1.54324	3.713	0.1
123	2	6	10	1.54158	3.717	1.3
124	5	5	5	1.54120	3.718	0.0

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/cm³): 3.47
Volume of cell (10⁶ pm³): 51.82
RIR: 6.35

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
User Mineral
Quality: None ()

Comments

Creation Date: 2/9/2021 1:05:50 PM
Modification Date: 2/9/2021 1:05:50 PM
Structure TIDY: Transformed from space group: "C1-" to space group: "P -1".
Structure TIDY: Applied Transformation matrix:
Structure TIDY: 0.5, -0.5, 0
Structure TIDY: 0.5, 0.5, 0
Structure TIDY: 0, 0, 1
Structure TIDY: TRANS -a+b,-a,c origin 1/2 1/2 1/2
Publication title: Time-resolved structural analysis of K-and Ba-exchange reactions with synthetic Na-birnessite using synchrotron X-ray diffraction Locality: synthetic
Sample: K-birnessite
COD database code: 9010156

References

Structure:

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

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	7.08640	0.809	100.0
2	0	0	2	3.54320	1.617	31.3
3	0	1	1	2.53087	2.264	4.3
4	0	1	0	2.52319	2.271	3.9
5	1	0	0	2.48565	2.305	0.5
6	1	1	0	2.47408	2.316	4.2
7	-1	0	1	2.41471	2.373	9.2
8	1	1	1	2.40644	2.381	7.0
9	0	0	3	2.36213	2.426	0.4
10	1	0	1	2.28200	2.511	3.0
11	-1	-1	1	2.27106	2.523	0.8
12	0	1	2	2.26457	2.530	0.5
13	0	-1	1	2.24818	2.549	12.5
14	-1	0	2	2.12727	2.694	4.5
15	1	1	2	2.12323	2.699	9.3
16	1	0	2	1.95353	2.933	0.9
17	-1	-1	2	1.94541	2.945	1.6
18	0	1	3	1.91145	2.998	2.3
19	0	-1	2	1.89505	3.024	4.5
20	-1	0	3	1.79523	3.192	6.6
21	1	1	3	1.79377	3.195	4.3
22	0	0	4	1.77160	3.235	1.4
23	1	0	3	1.63986	3.494	2.9
24	-1	-1	3	1.63431	3.506	1.3
25	0	1	4	1.59672	3.589	1.4
26	0	-1	3	1.58334	3.619	2.8
27	-1	0	4	1.50856	3.799	1.3
28	1	1	4	1.50827	3.799	1.5
29	-1	1	1	1.46921	3.901	1.5
30	1	2	1	1.46258	3.918	1.6
31	1	-1	0	1.45175	3.947	2.0
32	1	2	0	1.44483	3.966	2.0
33	-1	1	2	1.42584	4.019	2.0
34	2	1	0	1.42368	4.025	1.8
35	1	2	2	1.42026	4.035	1.5
36	0	0	5	1.41728	4.043	0.4
37	2	1	1	1.39625	4.104	1.0
38	-2	-1	1	1.39533	4.107	1.5
39	1	0	4	1.38472	4.139	1.2
40	-1	-1	4	1.38093	4.150	1.5
41	1	-1	1	1.37944	4.154	0.5
42	-1	-2	1	1.37307	4.174	0.8
43	0	1	5	1.34768	4.252	1.5
44	0	-1	4	1.33732	4.285	0.4
45	-1	1	3	1.33593	4.290	0.5
46	1	2	3	1.33173	4.303	0.4
47	2	1	2	1.32181	4.336	0.5
48	-2	-1	2	1.32025	4.341	0.9
49	0	2	1	1.28409	4.463	0.4
50	1	1	5	1.28226	4.469	0.4
51	-1	0	5	1.28208	4.470	0.8
52	1	-1	2	1.27371	4.499	0.4

LAPORAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FI-ITS



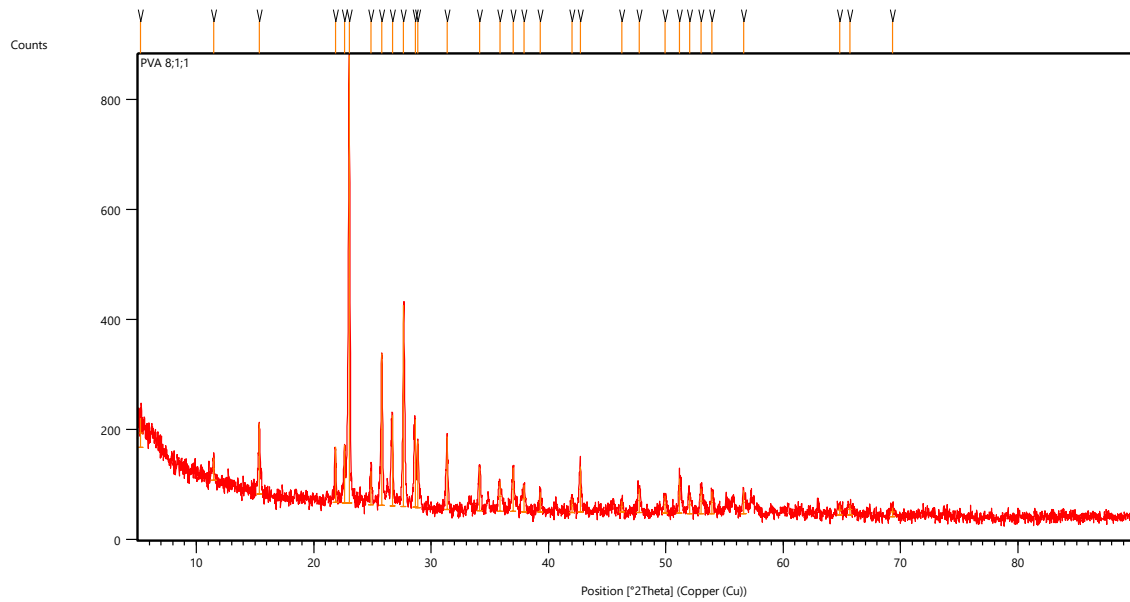
53	-1	-2	2	1.26835	4.519	0.4
54	0	2	2	1.26543	4.529	0.6
55	0	2	0	1.26160	4.543	0.2
56	-2	0	1	1.24341	4.609	0.3
57	2	0	0	1.24282	4.611	0.8
58	2	2	1	1.23826	4.628	0.4
59	2	2	0	1.23704	4.633	0.3
60	-1	1	4	1.22299	4.686	0.4
61	2	1	3	1.22025	4.697	0.2
62	1	2	4	1.22007	4.697	0.3
63	-2	-1	3	1.21842	4.704	0.3
64	0	2	3	1.21061	4.734	0.8
65	-2	0	2	1.20735	4.747	0.3
66	2	0	1	1.20574	4.753	0.7
67	0	-2	1	1.20392	4.760	0.3
68	2	2	2	1.20322	4.763	0.2
69	-2	-2	1	1.19987	4.777	0.7
70	1	0	5	1.18594	4.833	0.9
71	-1	-1	5	1.18327	4.844	0.7
72	0	0	6	1.18107	4.853	0.7
73	1	-1	3	1.15695	4.954	0.1
74	0	1	6	1.15565	4.959	0.6
75	-1	-2	3	1.15266	4.972	0.2
76	0	-1	5	1.14766	4.994	0.3
77	-2	0	3	1.14329	5.013	0.2
78	2	0	2	1.14100	5.023	0.7
79	2	2	3	1.14028	5.026	0.5
80	-2	-2	2	1.13553	5.047	0.5
81	0	2	4	1.13229	5.062	0.6
82	0	-2	2	1.12409	5.099	0.4
83	2	1	4	1.11067	5.160	0.2
84	-2	-1	4	1.10883	5.169	0.2
85	1	1	6	1.10658	5.180	0.2
86	-1	0	6	1.10623	5.181	0.1
87	1	2	5	1.10462	5.189	0.2

XRD S/MnO₂/PVA/AB (80%:10%:10%)

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	PVA 8;1;1
File name	C:\Users\ASUS\Downloads\April\April\Rikza-P.Lukman\PVA 8;1;1\PVA 8;1;1.xrdml
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
2Theta:0.001; Minimum step size	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size Omega:0.001
Minimum step size Phi:0.1	Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Diffractometer system=XPERT-PRO
Collector\Programs\Scan 7E2BBEEF477A}	Measurement program=C:\PANalytical\Data 5-90_spin4.xrdmp, Identifier={EA1354A2-691F-46A9-86C1-
Measurement Date / Time	4/7/2022 9:27:40 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)



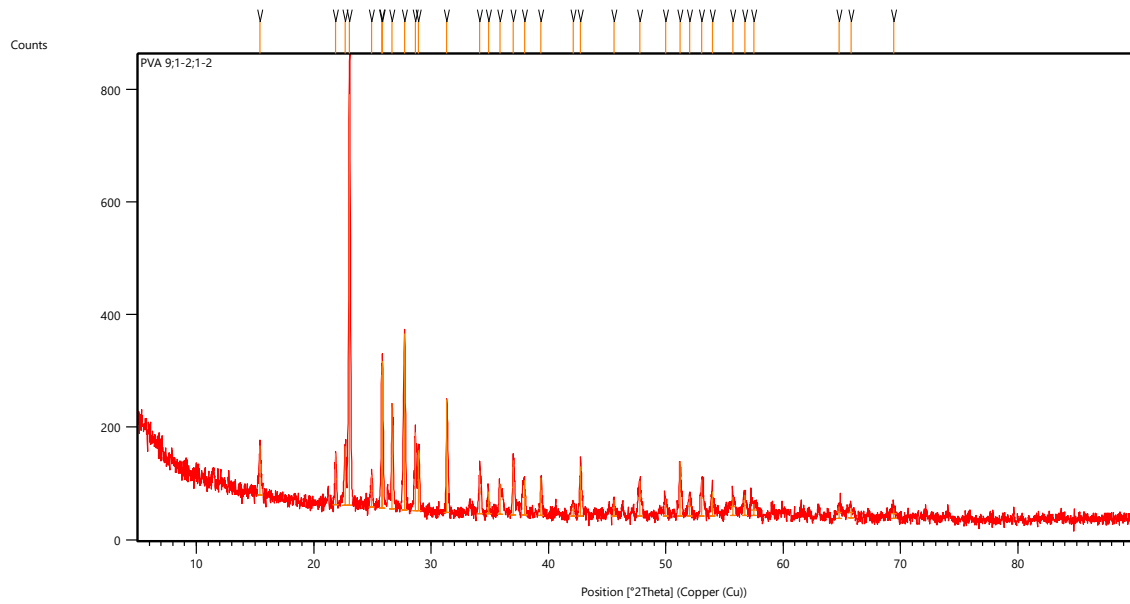
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.2664	53.24	0.5353	16.78078	6.53
11.4604	41.26	0.2007	7.72141	5.06
15.3519	127.63	0.1171	5.77176	15.66
21.8405	100.95	0.1338	4.06950	12.39
22.6403	105.55	0.1004	3.92753	12.95
23.0228	814.81	0.1428	3.86312	100.00
24.8758	60.18	0.1338	3.57940	7.39
25.7802	275.86	0.1338	3.45585	33.86
26.7036	165.58	0.1171	3.33841	20.32
27.6620	367.05	0.1004	3.22489	45.05
28.6448	159.72	0.1338	3.11643	19.60
28.8895	121.15	0.1004	3.09060	14.87
31.3608	131.70	0.1338	2.85245	16.16
34.1332	79.41	0.2007	2.62685	9.75
35.8531	53.19	0.2676	2.50469	6.53
37.0056	79.52	0.1673	2.42929	9.76
37.9138	48.89	0.3346	2.37316	6.00
39.3215	36.33	0.2007	2.29139	4.46
42.0071	24.64	0.2007	2.15090	3.02
42.7082	83.03	0.2007	2.11720	10.19
46.2787	20.14	0.2007	1.96183	2.47
47.7327	43.98	0.2007	1.90541	5.40
49.9339	31.62	0.2007	1.82645	3.88
51.1443	63.10	0.2007	1.78603	7.74
52.0156	33.82	0.2676	1.75815	4.15
53.0119	45.38	0.2676	1.72743	5.57
53.9342	40.36	0.2007	1.70005	4.95
56.6532	42.64	0.2007	1.62475	5.23
64.7927	16.91	0.4015	1.43893	2.08
65.6737	18.13	0.4015	1.42174	2.23
69.3162	16.11	0.4015	1.35566	1.98

XRD S/MnO₂/PVA/AB (90%:5%:5%)

Measurement Date / Time 4/7/2022 9:44:07 AM
Operator Institut Teknologi
Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis Gonio
Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 5.0084
End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$] 89.9744
Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0.0170
Scan Step Time [s] 10.1600
Scan Type Continuous
PSD Mode Scanning
PSD Length [$^{\circ}2\text{Th.}$] 2.12
Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$] 0.0000
Divergence Slit Type Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 1.0000
Specimen Length [mm] 10.00
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] 25.00
Anode Material Cu
K-Alpha1 [\AA] 1.54060
K-Alpha2 [\AA] 1.54443
K-Beta [\AA] 1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
Generator Settings 30 mA, 40 kV
Diffractometer Type 0000000011119014
Diffractometer Number 0
Goniometer Radius [mm] 240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00
Incident Beam Monochromator No
Spinning Yes

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	Left	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
15.4124	87.68	0.1673		5.74926	12.01
21.8708	90.60	0.1673		4.06393	12.41
22.6837	105.23	0.1004		3.92010	14.41
23.0185	730.15	0.1338		3.86383	100.00
24.9567	57.46	0.2007		3.56799	7.87
25.7759	236.22	0.0816		3.45356	32.35
25.8725	260.72	0.0836		3.44374	35.71
26.6834	186.91	0.1004		3.34088	25.60
27.7496	312.58	0.1506		3.21491	42.81
28.6733	139.07	0.1004		3.11340	19.05
28.9432	108.09	0.1673		3.08498	14.80
31.3398	201.04	0.0836		2.85432	27.53
34.1246	76.12	0.2007		2.62749	10.43
34.8824	39.59	0.2007		2.57213	5.42
35.8512	54.07	0.1338		2.50482	7.41
37.0214	96.52	0.2007		2.42829	13.22
37.9538	62.38	0.3011		2.37075	8.54
39.3751	67.12	0.1338		2.28839	9.19
42.1291	21.20	0.2676		2.14495	2.90
42.7486	88.74	0.1673		2.11529	12.15
45.5947	28.63	0.2007		1.98965	3.92
47.7912	62.93	0.3011		1.90321	8.62
49.9866	30.92	0.2007		1.82465	4.24
51.1964	97.03	0.1171		1.78434	13.29
52.0319	34.47	0.2676		1.75764	4.72
53.0804	64.88	0.2342		1.72537	8.89
53.9551	43.36	0.2007		1.69944	5.94

55.7060	33.20	0.4015	1.65010	4.55
56.7222	37.02	0.2007	1.62293	5.07
57.4893	20.49	0.5353	1.60309	2.81
64.7858	21.10	0.4015	1.43906	2.89
65.7868	18.41	0.4015	1.41957	2.52
69.4014	17.99	0.5353	1.35421	2.46

XRD S/MnO₂/PVDF/AB (80%:10%:10%)

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name PVDF 8;1;1

File name C:\Users\ASUS\Downloads\April\April\Rikza-P.Lukman\PVDF 8;1;1\PVDF 8;1;1.xrdml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffractometer system=XPERT-PRO

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

Measurement Date / Time 4/7/2022 9:13:37 AM

Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)

Scan Axis Gonio

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

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

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

Scan Step Time [s] 10.1600

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

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

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

Divergence Slit Type Fixed

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

Specimen Length [mm] 10.00

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

Anode Material Cu

K-Alpha1 [\AA] 1.54060

K-Alpha2 [\AA] 1.54443

K-Beta [\AA] 1.39225

K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000

Generator Settings 30 mA, 40 kV

Diffractometer Type 0000000011119014

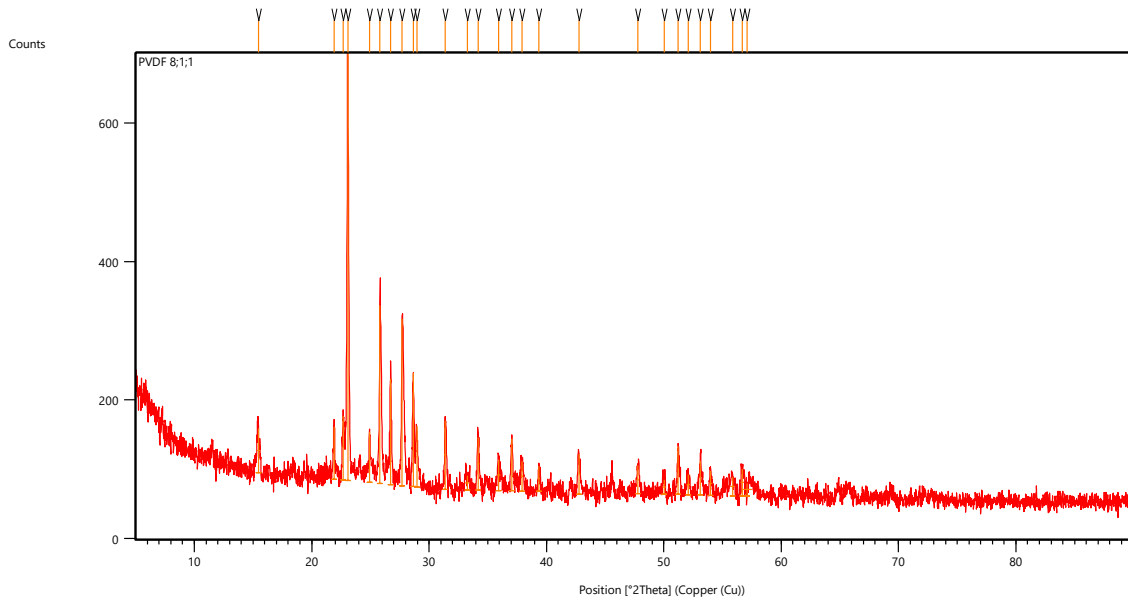
Diffractometer Number 0

Goniometer Radius [mm] 240.00

Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Incident Beam Monochromator No
Spinning Yes

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}2\theta$.]	Left	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
15.4535	63.85	0.2676		5.73405	10.21
21.9069	76.04	0.1338		4.05732	12.16
22.6913	92.71	0.1338		3.91880	14.82
23.0663	625.39	0.0846		3.85594	100.00
24.9374	72.81	0.1004		3.57071	11.64
25.8231	257.43	0.1004		3.45021	41.16
26.7052	152.50	0.1004		3.33822	24.38
27.6990	241.46	0.0836		3.22066	38.61
28.6647	164.16	0.1338		3.11432	26.25
28.9479	88.30	0.1004		3.08449	14.12
31.3998	99.38	0.1673		2.84900	15.89
33.2438	20.56	0.4015		2.69507	3.29
34.1691	75.98	0.1673		2.62417	12.15
35.9346	45.25	0.2676		2.49919	7.24
37.0558	75.31	0.1338		2.42611	12.04
37.9032	42.62	0.2007		2.37380	6.82
39.3607	36.22	0.2007		2.28919	5.79
42.7611	58.24	0.2007		2.11470	9.31
47.8047	40.34	0.2007		1.90271	6.45
50.0200	20.51	0.2676		1.82351	3.28
51.2295	69.80	0.1004		1.78326	11.16
52.0900	29.41	0.2676		1.75581	4.70

53.1157	49.83	0.2007	1.72430	7.97
53.9812	34.85	0.2676	1.69868	5.57
55.8499	27.33	0.4015	1.64619	4.37
56.7017	38.98	0.2676	1.62347	6.23
57.1202	17.80	0.8029	1.61257	2.85

XRD S/MnO₂/PVDF/AB (90%:5%:5%)

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name PVDF 9;1-2;1-2

File name C:\Users\ASUS\Downloads\April\April\Rikza-P.Lukman\PVDF 9;1-2;1-2\PVDF 9;1-2;1-2.xrdml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffraction system=XPRT-PRO

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

Measurement Date / Time 4/7/2022 9:04:04 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

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)

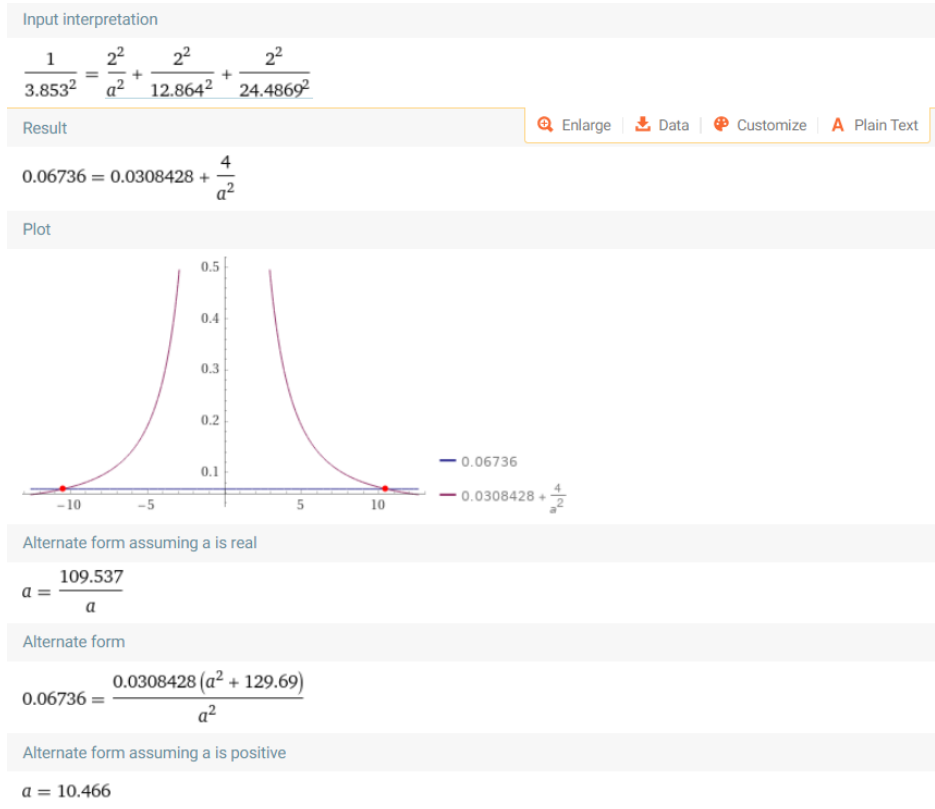
Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	Left	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.2763	57.24	0.5353		16.74913	16.89
15.4296	39.99	0.2676		5.74289	11.80
21.9244	36.53	0.2007		4.05413	10.78
23.0617	338.82	0.0836		3.85669	100.00
24.9579	28.69	0.4015		3.56782	8.47
25.8840	122.21	0.2342		3.44223	36.07
26.7273	88.47	0.1673		3.33550	26.11
27.7351	176.97	0.2342		3.21655	52.23
28.7046	88.87	0.1338		3.11008	26.23
31.4029	62.72	0.1673		2.84873	18.51
33.2199	27.66	0.4015		2.69695	8.16
34.1861	50.28	0.2676		2.62291	14.84
35.8887	36.68	0.2007		2.50229	10.83
37.0970	53.02	0.2007		2.42351	15.65
37.9584	26.41	0.4015		2.37047	7.79
39.3625	23.04	0.2676		2.28909	6.80
42.7928	43.90	0.2676		2.11321	12.96
45.5636	16.24	0.4015		1.99094	4.79
47.8008	37.60	0.2676		1.90285	11.10
51.2496	33.18	0.2676		1.78261	9.79
53.0760	28.94	0.2676		1.72550	8.54
55.8474	16.23	0.4015		1.64626	4.79

Lampiran 2. Perhitungan Parameter Kisi dengan Wolfram Alpha
Dengan persamaan

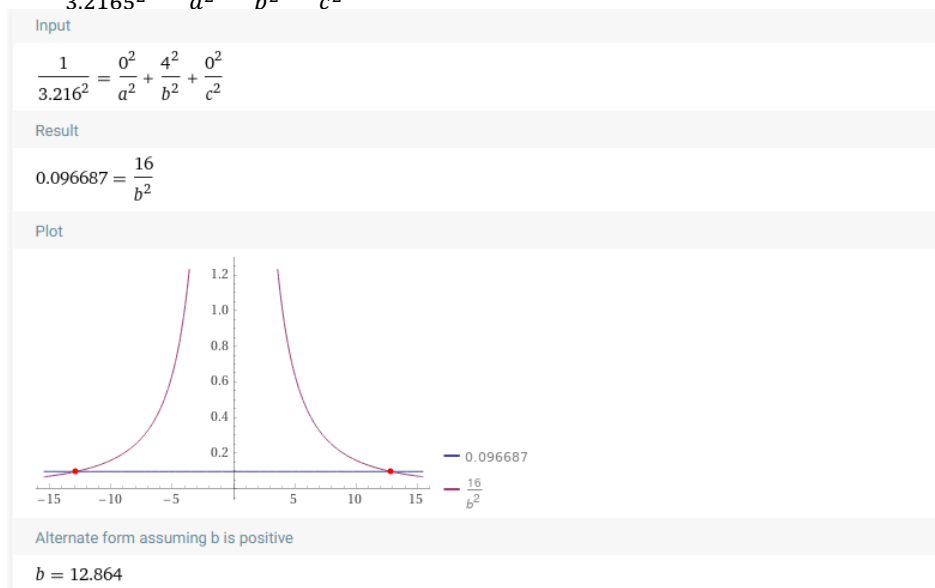
$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Parameter kisi : S/MnO₂

Nilai a: $\frac{1}{3.853^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.864^2} + \frac{2^2}{24.4869^2}$



Nilai b: $\frac{1}{3.2165^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$



Nilai c: $\frac{1}{3.446^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.864^2} + \frac{6^2}{c^2}$

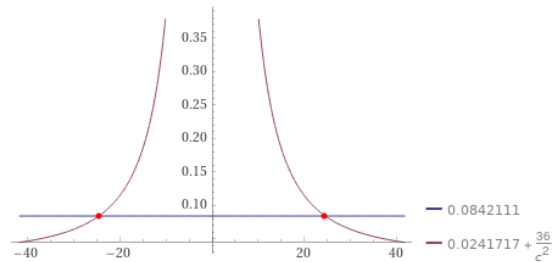
Input interpretation

$$\frac{1}{3.446^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.864^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0842111 = 0.0241717 + \frac{36}{c^2}$$

Plot



Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{599.606}{c}$$

Alternate form

$$0.0842111 = \frac{0.0241717(c^2 + 1489.34)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

$$c = 24.4869$$

Parameter kisi : S/MnO₂/PVA/AB (8:1:1)

Nilai a: $\frac{1}{3.863^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.896^2} + \frac{2^2}{24.552^2}$

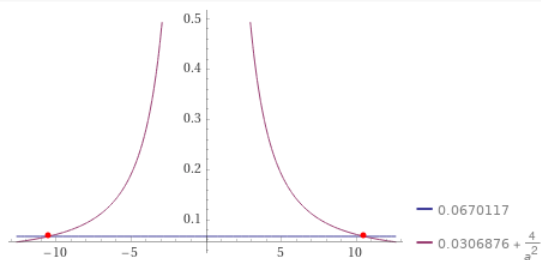
Input interpretation

$$\frac{1}{3.863^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.896^2} + \frac{2^2}{24.552^2}$$

Result

$$0.0670117 = 0.0306876 + \frac{4}{a^2}$$

Plot



Alternate form assuming a is real

$$a = \frac{110.12}{a}$$

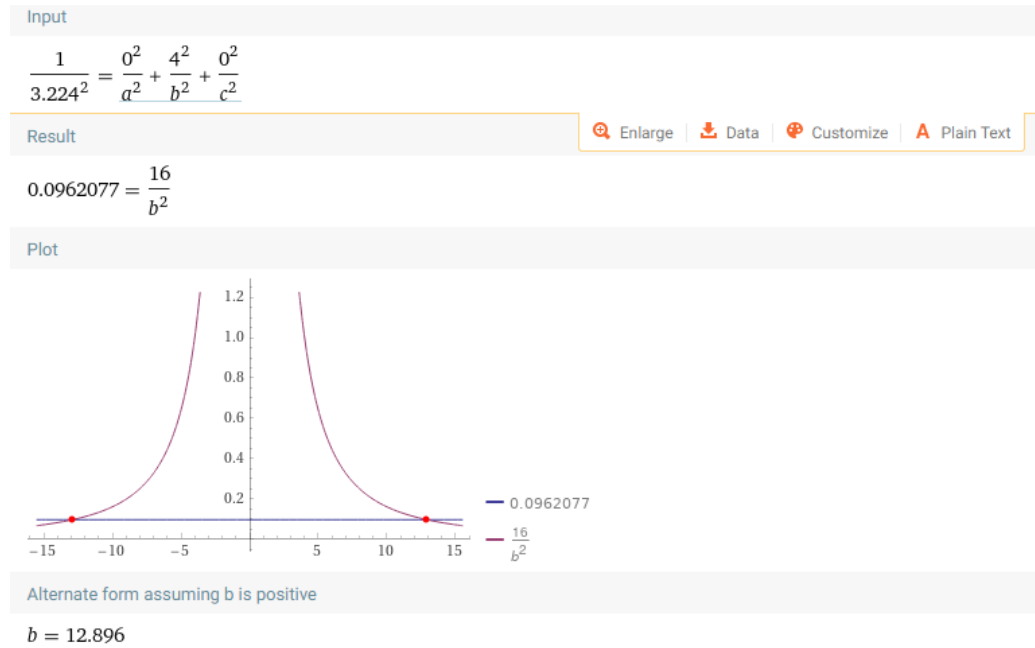
Alternate form

$$0.0670117 = \frac{0.0306876(a^2 + 130.346)}{a^2}$$

Alternate form assuming a is positive

$$a = 10.4938$$

Nilai b: $\frac{1}{3.224^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$



Nilai c: $\frac{1}{3.455^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.896^2} + \frac{6^2}{c^2}$



Parameter kisi : S/MnO₂/PVA/AB (9:0.5:0.5)

Nilai a: $\frac{1}{3.863^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.89596^2} + \frac{2^2}{24.46^2}$

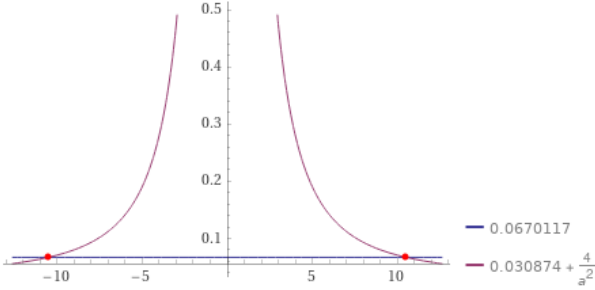
Input interpretation

$$\frac{1}{3.863^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.89596^2} + \frac{2^2}{24.46^2}$$

Result 🔍 Enlarge | 📄 Data | ⚙️ Customize | 🗨️ Plain Text

$$0.0670117 = 0.030874 + \frac{4}{a^2}$$

Plot



Alternate form assuming a is real

$$a = \frac{110.688}{a}$$

Alternate form

$$0.0670117 = \frac{0.030874(a^2 + 129.559)}{a^2}$$

Alternate form assuming a is positive

$$a = 10.5208$$

Nilai b: $\frac{1}{3.21491^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

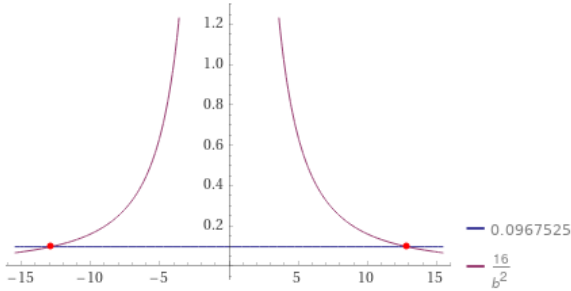
Input interpretation

$$\frac{1}{3.21491^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

Result

$$0.0967525 = \frac{16}{b^2}$$

Plot



Alternate form assuming b is positive

$$b = 12.8596$$

Nilai c: $\frac{1}{3.443^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8596^2} + \frac{6^2}{c^2}$

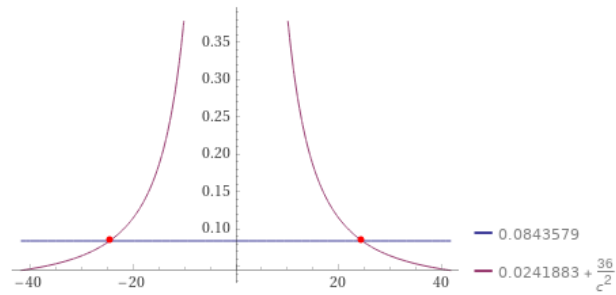
Input interpretation

$$\frac{1}{3.443^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.8596^2} + \frac{6^2}{c^2}$$

Result

$$0.0843579 = 0.0241883 + \frac{36}{c^2}$$

Plot



Alternate form assuming c is real

$$c = \frac{598.308}{c}$$

Alternate form

$$0.0843579 = \frac{0.0241883(c^2 + 1488.32)}{c^2}$$

Alternate form assuming c is positive

$$c = 24.4603$$

Parameter kisi : S/MnO₂/PVDF/AB (8:1:1)

Nilai a: $\frac{1}{3.85594^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.884^2} + \frac{2^2}{24.551^2}$

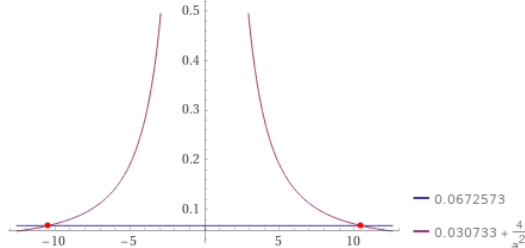
Input interpretation

$$\frac{1}{3.85594^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.884^2} + \frac{2^2}{24.551^2}$$

Result

0.0672573 = 0.030733 + $\frac{4}{a^2}$

Plot



Alternate form assuming a is real

$$a = \frac{109.516}{a}$$

Alternate form

$$0.0672573 = \frac{0.030733(a^2 + 130.153)}{a^2}$$

Alternate form assuming a is positive

$$a = 10.465$$

Nilai b: $\frac{1}{3.221^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$

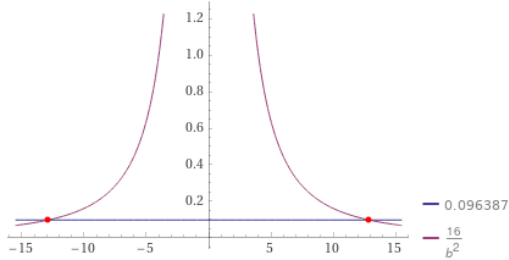
Input

$$\frac{1}{3.221^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

Result

$$0.096387 = \frac{16}{b^2}$$


Plot



Alternate form assuming b is positive

$$b = 12.884$$

Number line



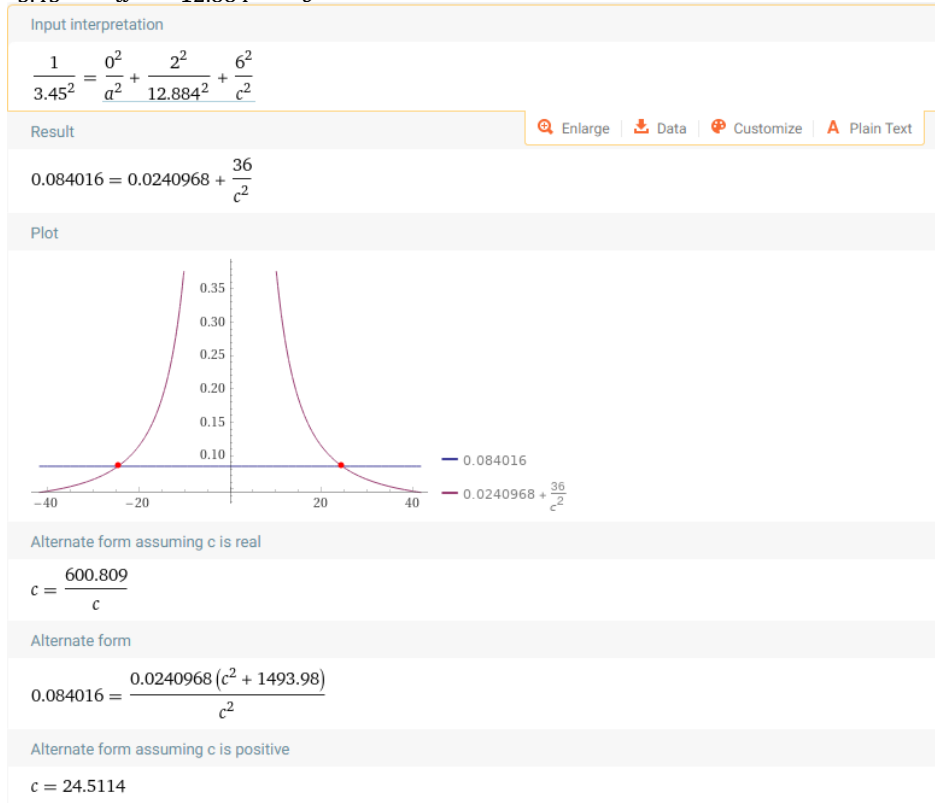
Solutions

Step-by-step solution

$$b \approx -12.884$$

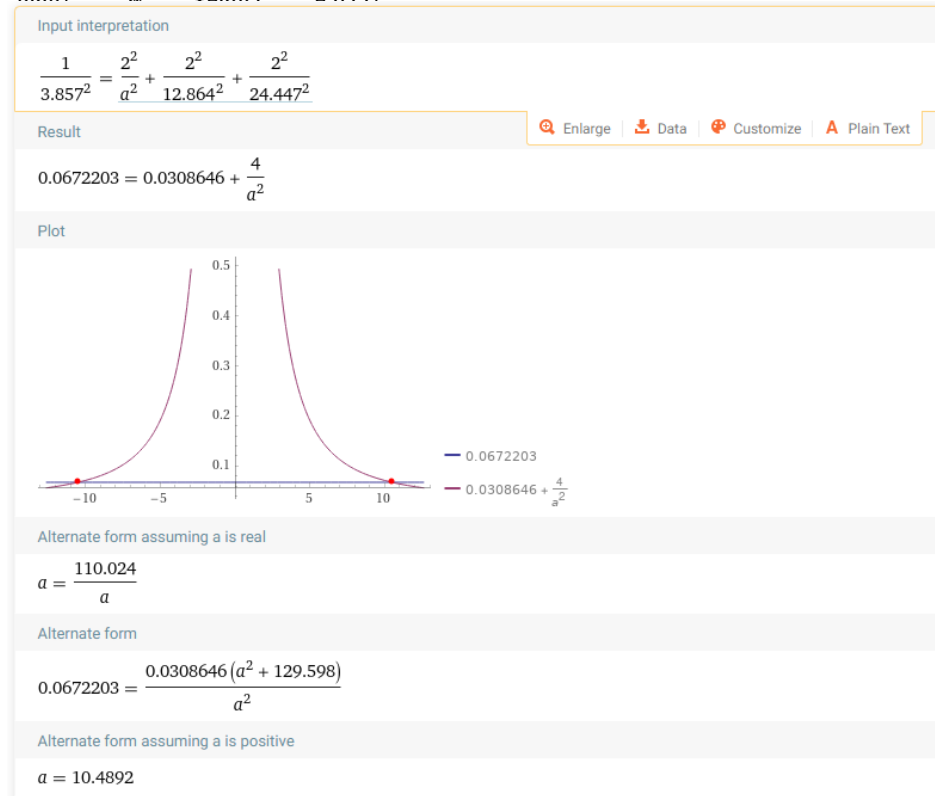
$$b \approx 12.884$$

Nilai c: $\frac{1}{3.45^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.884^2} + \frac{6^2}{c^2}$

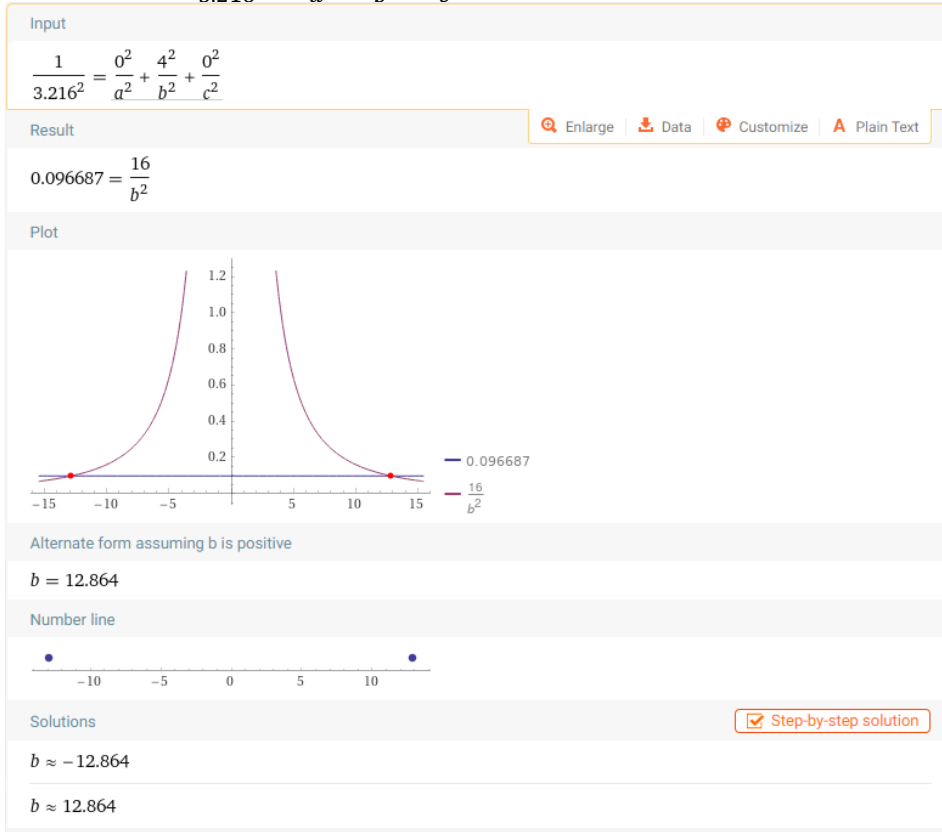


Parameter kisi : S/MnO₂/PVDF/AB (9:0.5:0.5)

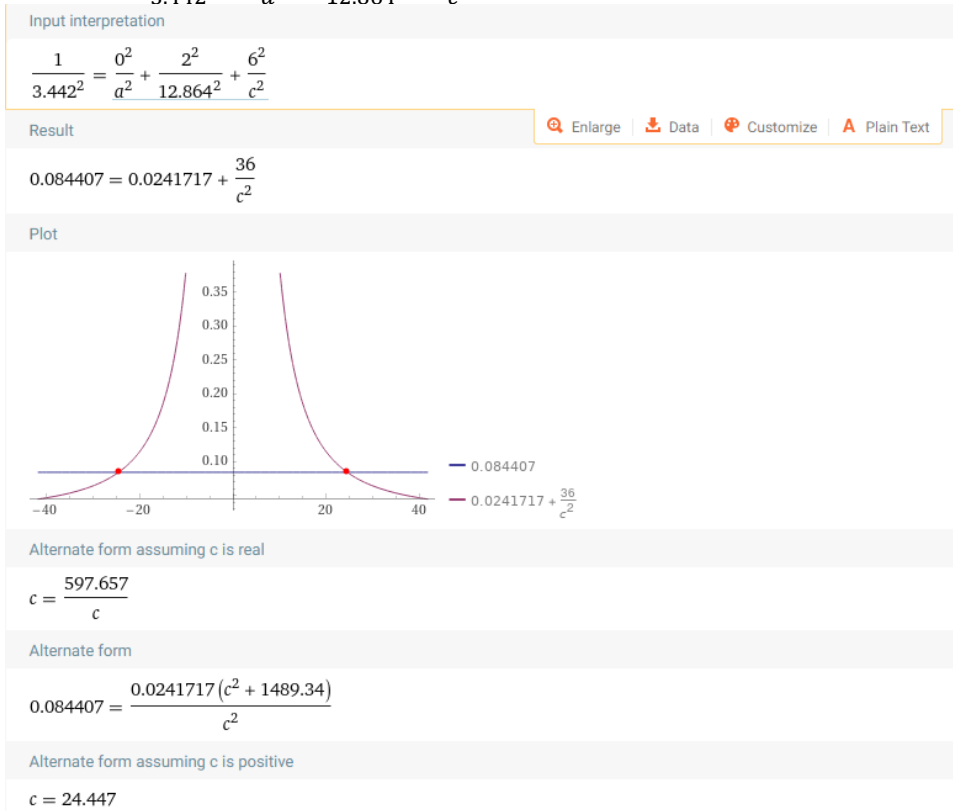
Nilai a: $\frac{1}{3.857^2} = \frac{2^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.864^2} + \frac{2^2}{24.447^2}$



Nilai b: $\frac{1}{3.216^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{4^2}{b^2} + \frac{0^2}{c^2}$



Nilai c: $\frac{1}{3.442^2} = \frac{0^2}{a^2} + \frac{2^2}{12.864^2} + \frac{6^2}{c^2}$



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, ucapan terima kasih tak lupa penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang turut serta membantu, diantaranya:

1. Bapak Zaini, Ibu Indah Fatmawati, Diah Ayu Puspitasari, dan Wildan Maulana Zulkha selaku keluarga yang selalu memberikan dukungan serta doa kepada penulis di setiap waktu dan kondisi apapun.
2. Keluarga besar penulis yang tak henti-hentinya memberikan doa dan semangat
3. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc(Eng)., Ph.D. serta Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan kesempatan, dukungan, serta ilmu dalam bimbingan hingga dapat terselesaikan Tugas Akhir ini.
4. Segenap Bapak Ibu Dosen serta staf Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Yang telah memberikan ilmu dan membantu kelancaran pengerjaan Tugas Akhir
5. Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam dan Mila Fatikah Sari sebagai rekan satu topik penulis dalam Tugas Akhir ini yang telah membantu, memberikan dukungan serta bekerja sama dalam keadaan sulit maupun senang hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Alvan Alfaridzi, Elsanti Anggraini, dan Salamullah Abdul Hadi sebagai teman tugas akhir topik baterai dan juga tempat meluapkan keluh kesah masalah Tugas Akhir yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Tim Bismillah Cuan Ibrahim Fathahillah Hizbul Islam dan Risa Wahyu Widyastuti, S.T dalam mencari cuan dalam berbagai perlombaan selama masa perkuliahan.
8. Yuslam, Syarif, Wafiq, Fatah, Darell dan semua keluarga besar Kos Family yang selalu menjadi teman bermain dan beramal.
9. Keluarga besar MT20 yang telah menjadi rumah terbaik penuh dengan cerita ketika masa-masa perkuliahan.
10. Bapak/Ibu tenaga pendidik yang membantu kegiatan akademik selama berkuliah di ITS.
11. Seluruh pihak yang telah ambil bagian dalam kehidupan penulis sehingga bisa sampai di titik ini.

Sekali lagi penulis ucapkan banyak terima kasih dan juga ingin memohon maaf jika penulis pernah melakukan kesalahan selama berkuliah. Semoga kebaikan yang telah kalian berikan dibalas oleh Allah SWT. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dalam penelitian terkait baterai maupun tentang penyimpanan energi, demi kemajuan Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS, serta tanah air tercinta.

Surabaya, 20 Juli 2022
Penulis

Rikza Octavian Pratama

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rikza Octavian Pratama. Merupakan anak kedua dari pasangan Zaini dan Indah Fatmawati yang lahir pada tanggal 1 Oktober 2000 di Tuban, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Bina Anak Sholeh, SMP Negeri 1 Tuban, SMA Negeri 1 Tuban dan melanjutkan studi Strata-1 (S1) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS melalui jalur SBMPTN pada tahun 2018. Selama berkuliah penulis aktif dalam berorganisasi seperti menjadi staff Dalam Negeri HMMT dan Staff ahli Otomotif Antasena. Penulis pernah meraih prestasi semasa kuliahnya Juara 2 pada INPC, ITERA Sumatra Utara 2021 dan Gold Medal pada World Interational Technology and Expo 2021. Penulis juga aktif di beberapa pelatihan kewirausahaan (LKMW TD), Basic Media Schooling (BMS),. Penulis juga telah melakukan kerja praktik di perusahaan PT. Semen Indonesia selama 30 hari di bagian *Unit of Reliability Maintenance*. Untuk menyelesaikan studi S1, penulis melakukan penelitian Baterai Lithium-Sulfur dengan judul tugas akhir “ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA ACETYLINE BLACK DENGAN BINDER PVA DAN PVDF PADA PERFORMA ELEKTROKIMIA KATODA SULFUR/MNO₂”.