



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Indralaya Ogan Ilir 30662,
Telp : (0711) 580739, 580062, Faksimili (0711) 580741
Laman : www.ft.unsri.ac.id

KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Nomor : 0842/UN9.FT/TU.SK/2022

Tentang

PENGANGKATAN PANITIA DAN PENGUJI SEMINAR PROPOSAL DISERTASI
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA PERIODE SEMESTER GANJIL
TAHUN AKADEMIK 2022/2023 (12 SEPTEMBER 2022)

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA

- MEMPERHATIKAN** : Surat Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Nomor: 0168/UN9.1.3.3/PSD/DT/2022 tanggal 9 September 2022 tentang Seminar Proposal Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Periode Semester Ganjil TA 2022/2023.
- MENIMBANG** : a. bahwa agar Ujian Disertasi Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Periode Semester Ganjil TA 2022/2023 terlaksana, dipandang perlu membentuk Panitia Seminar Proposal tersebut dan menunjuk serta mengangkat personalianya.
- b. bahwa sehubungan dengan butir a tersebut di atas, maka perlu dikeluarkan Surat Keputusan sebagai Pedoman dan landasan hukumnya.
- MENINGAT** : 1. Undang-undang Nomor : 32 tahun 1961
2. Peraturan Pemerintah Nomor : 42 1960.
3. Peraturan Pemerintah Nomor : 60 Tahun 1999
4. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia No : 32031/MIKP/IX/2019 tanggal 24 Oktober 2019.
5. Keputusan Rektor Unsri No. 4294/PT11.1.1/c.2.a/1987, tanggal 14 Oktober 1987, tentang Pemberian Wewenang kepada Dekan untuk penerbitan Surat Keputusan Panitia Seminar Proposal Fakultas.

6. Keputusan Rektor Universitas Sriwijaya Nomor : 0108/UN9/SK.BAK,KP/2021 tanggal 24 Februari 2021, tentang Pengangkatan Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya masa tugas tahun 2021-2025.

MEMUTUSKAN

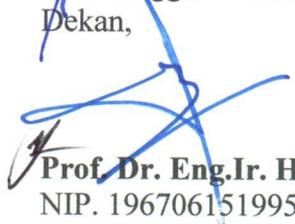
MENETAPKAN : KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA TENTANG PANITIA DAN PENGUJI SEMINAR PROPOSAL DISERTASI MAHASISWA PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

Pertama : Mengangkat Panitia dan Penguji Saudara-Saudara yang nama dan jabatannya seperti tertera dalam lampiran keputusan ini, sebagai Panitia dan Penguji Seminar Proposal Disertasi Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Periode Semester Ganjil Tahun Akademik 2022/2023, Serta menunjuk personalianya seperti tertera dalam lampiran Surat Keputusan ini.

Kedua : Segala biaya yang timbul akibat dikeluarkannya Surat Keputusan ini dibebankan kepada anggaran Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, atau anggaran yang disediakan untuk itu.

Ketiga : Keputusan ini berlaku sejak tanggal dikeluarkan, dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki sebagaimana mestinya apabila terdapat kekeliruan dalam Keputusan ini.

Ditetapkan di : Indralaya
Pada tanggal : 13 September 2022
Dekan,


Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

TEMBUSAN :

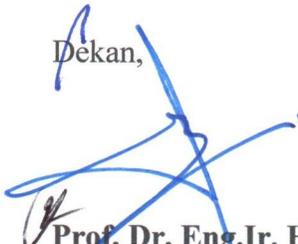
1. Rektor Universitas Sriwijaya
2. Kepala BAK/BUK Universitas Sriwijaya
3. Koordinator Prodi S3 FT. Unsri
4. BPP FT. Unsri

Lampiran I : Keputusan Dekan FT Universitas Sriwijaya
Nomor : 0842/UN9.FT/TU.SK/2022
Tanggal : 13 September 2022

PANITIA KEGIATAN SEMINAR PROPOSAL
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

Pengarah : **Prof. Dr. Eng.Ir. Joni Arliansyah, MT**
Penanggung Jawab : 1. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, ST., MT.,IPM
2. Ar.Widya Fransiska FA., ST., MM., Ph.D
3. Ir.Hj.Ika Juliantina, M.S
Ketua : Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
Anggota : 1. Jeany Rospamarina

Dekan,

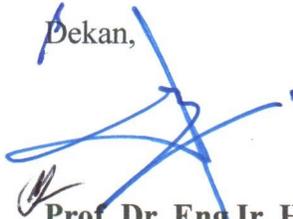

Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

Lampiran II : Keputusan Dekan FT Universitas Sriwijaya
Nomor : 0842/UN9.FT/TU.SK/2022
Tanggal : 13 September 2022

PENGUJI KEGIATAN SEMINAR PROPOSAL
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

1. Nama Mahasiswa : Budi Santoso NIM : 03043681621013
Ketua Penguji : Prof. Dr. Ir. Nukman, MT.
Anggota : 1. Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA
2. Hj. Ir. Erna Yuliwati, Ph.D.,MT.,IPU
3. Dr. David Bahrin, ST.,MT

Dekan,



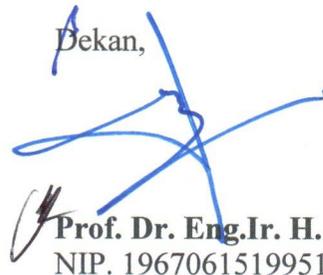
Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

Lampiran III : Keputusan Rektor Universitas Sriwijaya
Nomor : 0842/UN9.FT/TU.SK/2022
Tanggal : 13 September 2022

PESERTA KEGIATAN SEMINAR PROPOSAL
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

No	Nama/Nim	Judul Disertasi	Promotor/Ko-Promotor	Tim Penguji/Pembahas
1.	Budi Santoso 03043681621013 Teknik Kimia	Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion Dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda	Promotor : Prof. Dr.Ir. H. M. Djoni Bustan, M. Eng Ko-Promotor : Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA	Ketua : Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T Anggota : 1. Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA 2. Hj. Ir. Erna Yuliyati, Ph.D.,MT.,IPU 3. Dr. David Bahrin, ST.,MT

Dekan,



Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Indralaya Ogan Ilir 30662,
Telp : (0711) 580739, 580062, Faksimili (0711) 580741
Laman : www.ft.unsri.ac.id

SURAT TUGAS

No : 0587/UN9.FT/TU. ST/2022

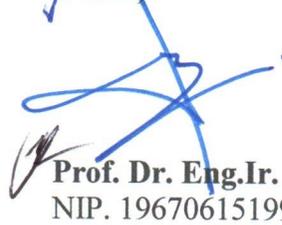
Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya menugaskan saudara-saudara yang namanya tersebut dibawah ini :

No	Nama/Nim	Judul Disertasi	Promotor/Ko-Promotor
1.	Budi Santoso 03043681621013 Teknik Kimia	Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion Dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda	Promotor : Prof. Dr.Ir. H. M. Djoni Bustan, M. Eng Ko-Promotor : Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA

sebagai promotor dan ko-promotor Seminar Proposal Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dengan penuh tanggung jawab.

Inderalaya, 13 September 2022
Dekan


Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MTy
NIP. 196706151995121002

Tembusan :
Koordinator Prodi S3 FT. Unsri



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Indralaya Ogan Ilir 30662,
Telp : (0711) 580739, 580062, Faksimili (0711) 580741
Laman : www.ft.unsri.ac.id

UNDANGAN
Nomor : 0351/UN9.FT/TU.UN/2022

Kepada Yth, :
di,
Tempat

Dengan hormat, kami sangat mengharapkan kesediaan Bapak/Ibu pada Seminar Proposal Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang akan dilaksanakan, pada :

hari : Senin
tanggal : 13 September 2022
pukul : 14.00 WIB s.d. Selesai
tempat : Zoom Meeting (online)

Demikianlah undangan ini disampaikan, atas perhatian Bapak /Ibu kami ucapkan terima kasih.

Inderalaya, 13 September 2022
Dekan,

Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP.196706151995121002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Indralaya Prabumulih KM 32 Indralaya Kab. Ogan Ilir 30662
Telepon (0711) 580739, Faximile (0711) 580741 Pos El. ftunsri@unsri.ac.id

Palembang, 10 Januari 2023

Nomor : 008/ UN9.FT/TU.UN/2023
Lampiran : -
Perihal : Undangan Ujian Disertasi

Kepada Yth,
Ir. Erna Yuliawati, M.T., Ph.D., IPU
di
Tempat

Dengan hormat,
Kami sangat mengharapkan kehadiran Bapak sebagai Penguji Sidang Ujian Disertasi dari Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Budi Santoso
NIM : 03043681621013
BKU : Teknik Kimia
Judul Disertasi : Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda
Promotor : Prof. Ir. Sri Haryati, DEA., IPU
Ko-Promotor : Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T.
Akan dilaksanakan pada:
Hari : Kamis
Tanggal : 12 Januari 2023
Pukul : 13.00 WIB sd. selesai
Tempat : Ruang Rapat Fakultas Teknik Kampus Palembang

Demikianlah disampaikan, atas perhatian Bapak, kami ucapkan terima kasih.

DEKAN,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

Pakaian :

- *Jas Untuk Ketua Sidang, Penguji & Guru Besar*
- *Mahasiswa menggunakan almamater dan kemeja*
- *Penguji yang Offline Hadir 15 menit sebelum acara dimulai & yang online sudah hadir di zoom meeting 15 menit sebelum mulai.*



KEMENTERIAN PENDIDIKAN KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR

Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139
Email : s3ilmuteknik@ft.unsri.ac.id

BERITA ACARA
PROPOSAL DISERTASI (TEK004217)

No : 0168/UN9.1.3.3/PSD/DT/2022

Pada hari ini, Senin tanggal 12 September 2022 dilaksanakan Seminar Proposal Disertasi dari Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya :

Nama : Budi Santoso
NIM : 03043681621013
Prodi : Ilmu Teknik Program Doktor
BKU : Teknik Kimia
Judul : Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion Dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda
Promotor : Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng.
Ko- Promotor : Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA.

Nilai Angka : 88

Huruf : A

Ketua :

Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T

Tim penguji / pembahas :

1. Prof. Dr. Ir. M. Taufik Toha, DEA

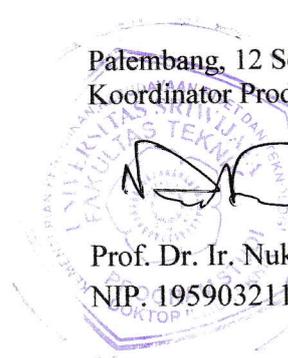
92

2. Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D.

3. Dr. David Bahrin, S.T, M.T

Palembang, 12 September 2022
Koordinator Prodi,

Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T
NIP: 195903211987031001





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Palembang Prabumulih KM 32 Palembang Kab. Ogan Ilir 30662
Pos El. ftunsri@unsri.ac.id

KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Nomor : 1193a/UN9.FT/TU.SK/2022

Tentang

PENGANGKATAN PANITIA DAN PENGUJI UJIAN DISERTASI PROGRAM STUDI
ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA PERIODE SEMESTER GANJIL
TAHUN AKADEMIK 2022/2023 (29 DESEMBER 2022)

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA

MEMPERHATIKAN : Surat Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Nomor: 0235/UN9.1.3.3/PSD/DT/2022 tanggal 27 Desember 2022 tentang Ujian Disertasi Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Periode Semester Ganjil TA 2022/2023.

MENIMBANG : a. bahwa agar Ujian Disertasi Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Periode Semester Ganjil TA 2022/2023 terlaksana, dipandang perlu membentuk Panitia Ujian Disertasi tersebut dan menunjuk serta mengangkat personalianya.

b. bahwa sehubungan dengan butir a tersebut di atas, maka perlu dikeluarkan Surat Keputusan sebagai Pedoman dan landasan hukumnya.

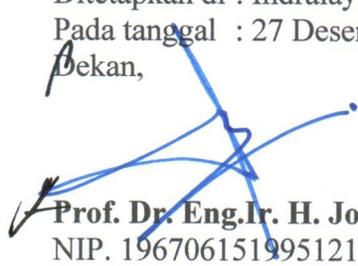
MENGINGAT : 1. Undang-undang Nomor 20 tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional
2. Peraturan Pemerintah Nomor : 60 Tahun 1999, tentang Pendidikan Tinggi
3. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia No : 32031/MIKP/2019 tanggal 24 September 2019 Tentang Pengangkatan Rektor Universitas Sriwijaya
4. Kep. Mendikbud RI No.232/U/2000, Tentang Penyusunan Kurikulum Pendidikan Tinggi dan Penilaian Hasil Belajar Mahasiswa
5. Kepmendikbud RI Nomor : 468/E/O/2014, tanggal 8 Oktober 2014, tentang Izin Penyelenggaraan Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor

6. Keputusan Rektor Universitas Sriwijaya Nomor : 0108/UN9/SK.BUK.KP/2021, tanggal 24 Februari 2021, tentang Pengangkatan Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya masa tugas 2021-2025.
7. SK Rektor Unsri No: 431/UN9/DT.Kep/2014 tentang Pembukaan dan Pedoman Penyelenggaraan Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor pada Universitas Sriwijaya.

MEMUTUSKAN

- MENETAPKAN** : KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA TENTANG PANITIA DAN PENGUJI UJIAN DISERTASI MAHASISWA PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023
- Pertama** : Mengangkat Panitia dan Penguji Saudara-Saudara yang nama dan jabatannya seperti tertera dalam lampiran keputusan ini, sebagai Panitia dan Penguji Ujian Disertasi Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Periode Semester Ganjil Tahun Akademik 2022/2023, Serta menunjuk personalianya seperti tertera dalam lampiran Surat Keputusan ini.
- Kedua** : Segala biaya yang timbul akibat dikeluarkannya Surat Keputusan ini dibebankan kepada anggaran Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, atau anggaran yang disediakan untuk itu.
- Ketiga** : Keputusan ini berlaku sejak tanggal dikeluarkan sampai dengan berakhirnya kegiatan tersebut, dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki sebagaimana mestinya apabila terdapat kekeliruan dalam Keputusan ini.

Ditetapkan di : Indralaya
Pada tanggal : 27 Desember 2022
Bekan,


Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

TEMBUSAN :

1. Rektor Universitas Sriwijaya
2. Kepala BAK/BUK Universitas Sriwijaya
3. Koordinator Prodi S3 FT. Unsri
4. BPP FT. Unsri

Lampiran I : Keputusan Dekan FT Universitas Sriwijaya
Nomor : 1193a/UN9.FT/TU.SK/2023
Tanggal : 27 Desember 2022

PANITIA KEGIATAN UJIAN
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

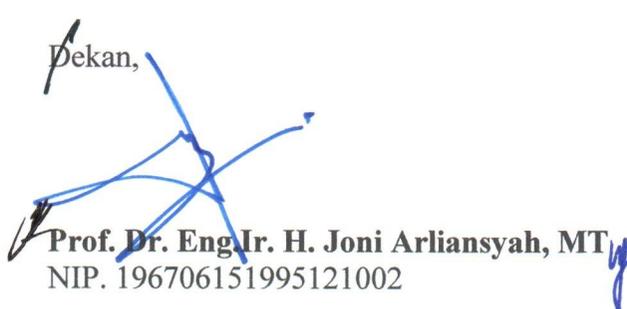
Pengarah : **Prof. Dr. Eng.Ir. Joni Arliansyah, MT**

Penanggung Jawab : 1. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, ST., MT.,IPM
2. Ar.Widya Fransiska FA., ST., MM., Ph.D.,IAI
3. Ir.Hj.Ika Juliantina, M.S

Ketua : Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.

Anggota : 1. Yuni Erika

Dekan,

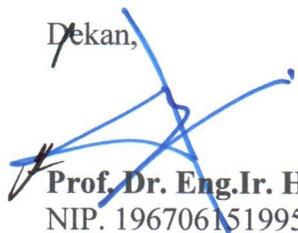

Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

Lampiran II : Keputusan Dekan FT Universitas Sriwijaya
Nomor : 1193a/UN9.FT/TU.SK/2022
Tanggal : 27 Desember 2022

PENGUJI KEGIATAN UJIAN
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

1. Nama Mahasiswa : Budi Santoso NIM : 03043681621013
Ketua Penguji : Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.
Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T
Anggota : 1. Prof. Dr. Ir. M. Taufik Toha, DEA
 2. Ir. Erna Yulawati, MT.,Ph.D.,IPU
 3. Dr. David Bahrin, ST.,MT

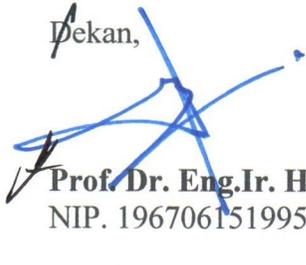
Dekan,


Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002 

Lampiran III : Keputusan Rektor Universitas Sriwijaya
Nomor : 1193aa/UN9.FT/TU.SK/2022
Tanggal : 27 Desember 2022

PESERTA KEGIATAN UJIAN
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PERIODE SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

No.	Nama/NIM/BKU	Judul Disertasi	Promotor/Ko-Promotor	Tim Penguji/Pembahas
1.	Budi Santoso 03043681621013 Teknik Kimia	Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion Dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda	Promotor : Prof. Ir. Sri Haryati, DEA., IPU Ko- Promotor : Dr. Ir. Armin Sofijan, MT	Ketua Penguji : Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T., IPU. Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T Anggota : 1. Prof. Dr. Ir. M. Taufik Toha, DEA 2. Ir. Erna Yuliawati, MT.,Ph.D.,IPU 3. Dr. David Bahrin, ST.,MT

Dekan,

Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Indralaya Ogan Ilir 30662,

Laman : www.ft.unsri.ac.id

SURAT TUGAS

No : 0842a/UN9.FT/TU. ST/2022

Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya menugaskan saudara-saudara yang namanya tersebut dibawah ini :

No.	Nama/NIM/BKU	Judul Disertasi	Promotor/Ko-Promotor
1.	Budi Santoso 03043681621013 Teknik Kimia	Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion Dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda	Promotor : Prof. Ir. Sri Haryati, DEA., IPU Ko-Promotor : Dr. Ir. Armin Sofijan, MT

sebagai promotor dan ko-promotor Ujian Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dengan penuh tanggung jawab.

Inderalaya, 27 Desember 2022

Dekan,

Prof. Dr. Eng Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

Tembusan :
Koordinator Prodi S3 FT. Unsri



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Indralaya Ogan Ilir 30662,
Laman : www.ft.unsri.ac.id

UNDANGAN

Nomor : 0494a/UN9.FT/TU.UN/2023022

Kepada Yth, :

di,

Tempat

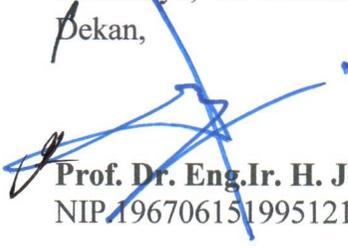
Dengan hormat, kami sangat mengharapkan kesediaan Bapak/Ibu pada Ujian Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang akan dilaksanakan, pada :

hari : Kamis
tanggal : 29 Desember 2022
pukul : 13.00 WIB s.d. Selesai
tempat : Ruang Rapat Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor

Demikianlah undangan ini disampaikan, atas perhatian Bapak /Ibu kami ucapkan terima kasih.

Inderalaya, 27 Desember 2022

Dekan,


Prof. Dr. Eng.Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP.196706151995121002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Palembang-Prabumulih, KM 32 Inderalaya Kabupaten Ogan Ilir 30662
Laman: www.ft.unsri.ac.id

Nomor : 0156 /UN9.FT/TU.UN/2023
Lampiran : 1 berkas
Perihal : Undangan Ujian Disertasi

4 Mei 2023

Kepada Yth.

Penguji :

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, MSc
2. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T
3. Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D
4. Dian Kharismadewi, S.T., M.T., Ph.D

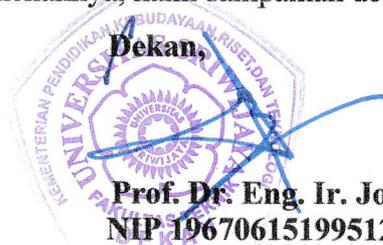
Dengan hormat, kami sangat mengharapkan kehadiran Bapak sebagai Penguji pada Ujian Disertasi dari Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Selpiana
NIM : 0304368172209
Program Studi : Ilmu Teknik Program Doktor
Bidang Kajian Utama : Teknik Kimia
Judul Disertasi : Preparasi Material β -PbO₂ Diaplikasikan pada Sintesis Limonene Berbahan Baku Karet Alam Menggunakan Metode Pirolisis Vakum
Promotor : Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA., IPU
Ko-Promotor : Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Djoni Bustan, M.Eng., IPU

Akan dilaksanakan pada:

Hari : Jum'at
Tanggal : 12 Mei 2023
Pukul : 09.00 WIB s/d Selesai
Tempat : Ruang Rapat Dekanat Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Kampus Palembang

Atas perhatian, kesediaan dan perkenannya, kami sampaikan ucapan terima kasih.



Dekan,
Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T
NIP 196706151995121002

Pakaian:

- * Jas Untuk Ketua Sidang, Penguji dan Guru Besar
- * Mahasiswa menggunakan almamater dan Kemeja
- * Penguji yang offline Hadir 15 menit sebelum acara dimulai
& yang online sudah hadir di Zoom meeting 15 menit sebelum mulai



KEMENTERIAN PENDIDIKAN KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR

Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139
Email : s3ilmuteknik@ft.unsri.ac.id

BERITA ACARA UJIAN DISERTASI

Nomor : 0

Pada hari ini, Kamis tanggal 29 Desember 2022 dilaksanakan Ujian Disertasi dengan mahasiswa:

Nama : Budi Santoso
NIM : 3043681621013
BKU : Teknik Kimia

Dengan judul Disertasi : Optimasi Kinerja Baterai Liti-Ion dengan Karbon Kangkung Air Sebagai Anoda

Nilai :

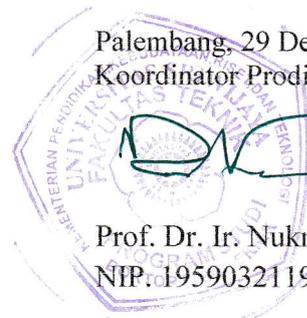
- Angka : 92
- Huruf : A

Tim penguji / pembahas :

1. Dr. Bhakti Yudho Suprpto, M.T
2. Prof. Dr. Ir. M. Taufik Toha, DEA
3. Ir. Erna Yulawati, M.T., PhD., IPU
4. Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

Palembang, 29 Desember 2022
Koordinator Prodi,

Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T
NIP. 195903211987031001





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
Jl. Srijaya Negara Kampus FT Unsri Bukit Besar Palembang (30139)
Pos El s3ilmuteknik@ft.unsri.ac.id

DAFTAR HADIR UJIAN DISERTASI
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR
PERIODE SEMESTER GANJIL TA. 2022/2023

Pada hari ini, Kamis tanggal 29 Desember 2022 dilaksanakan Ujian Disertasi mahasiswa :

Nama : Budi Santoso
NIM : 3043681621013
BKU : Teknik Kimia

Judul Disertasi : Pembuatan, Karakteristik Membran Polyvinilidene Fluoride dengan Penguat Timah Sebagai Media Penyaringan Air

No	Nama	Tanda Tangan
1.	Dr. Bhakti Yudho Suprpto., S.T., M.T	1.
2.	Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T	2.
3.	Prof. Ir. Sri Haryati, DEA., IPU	3.
4.	Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T.	4.
5.	Prof. Dr. Ir. M. Taufik Toha, DEA	5.
6.	Ir. Erna Yulawati, M.T., PhD., IPU	6.
7.	Dr. David Bahrin, S.T., M.T.	7.
8.		8.
9.		9.
10.		10.
11.		11.
12.		12.
13.		13.
14.		14.
15.		15.

DISERTASI

**PEMBUATAN BATERAI LITIUM ION DENGAN
KARBON KANGKUNG AIR (*IPOMEA AQUATICA*)
SEBAGAI ANODA**



BUDI SANTOSO
NIM : 03043681621013

Promotor :
Prof. Dr.Ir. Hj. Sri Haryati, DEA , IPU
Ko - Promotor :
Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T.

PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMBUATAN BATERAI LITIMUM ION DENGAN KARBON
KANGKUNG AIR (*IPOMEA AQUATICA*)
SEBAGAI ANODA**

DISERTASI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu syarat memperoleh Gelar Doktor Dalam
Bidang Ilmu Teknik Kimia

Oleh

BUDI SANTOSO
03043681621013

Palembang, 29 Desember 2022

Promotor



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU
NIP. 195610241981032001

Ko-Promotor



Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T.
NIP. 196411031995121001

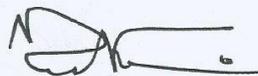
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Koordinator Program Studi



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Disertasi ini dengan judul Pembuatan Baterai Litium Ion Dengan Karbon Kangkung Air (*Ipomea Aquatica*) Sebagai Anoda telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 29 Desember 2022

Palembang, 29 Desember 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan disertasi

Ketua Penguji :

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

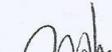
()

Anggota

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA

()

2. Ir. Erna Yuliwati M.T. Ph.D

()

3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 198010312005011003

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Koordinator Program Studi



Prof. Dr. Ir. H. Joni Ariansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T
NIP. 195903211987031001

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “Pembuatan Baterai Litium Ion dengan Karbon Kangkung Air (*Ipomea Aquatica*) Sebagai Anoda” yang merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan disertasi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis juga menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Rektor Universitas Sriwijaya Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE., IPU., ASEAN.Eng yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk menempuh pendidikan Doktor
2. Dekan Fakultas Teknik Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah M.Eng yang telah memberikan izin untuk menempuh pendidikan Doktor sekaligus memberikan Semangat
3. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T selaku Ketua Prodi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan kelancaran pelayanan dan urusan Akademik.
4. Prof Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA , IPU selaku Promotor yang telah memberikan banyak ilmu dan nasihat serta semangat untuk menyelesaikan pendidikan Doktor
5. Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T. selaku Ko-Promotor yang telah memberikan dorongan dalam penulisan disertasi ini.
6. Pimpinan Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Dr. Tuti Indah Sari, S.T. M.T dan Dr. Fitri Hadiyah, ST.,M.T. yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan pendidikan Doktor

7. Seluruh Dosen Program Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya dan Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang senantiasa memberikan dukungan moril kepada penulis

Selanjutnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada istri, anak-anak, orang tua, saudara, karib kerabat yang telah memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan Doktor ini.

Semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi penulis juga bagi para pembaca.

Penulis,

Budi Santoso, S.T.M.T.

RINGKASAN

PEMBUATAN BATERAI LITIMUM ION DENGAN KARBON KANGKUNG AIR (*IPOMEA AQUATICA*) SEBAGAI ANODA

Karya Tulis Ilmiah berupa Disertasi, Desember 2022

Budi Santoso, Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA IPU dan Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T

iv+ 137 halaman, 17 Gambar, 8 Tabel, 1 Lampiran

RINGKASAN

Saat ini, baterai lithium-ion masih menggunakan elektroda dari grafit, yang merupakan sumber daya alam untuk mineral non-logam. Sebagai rencana berkelanjutan, penelitian tentang pembuatan baterai litium-ion berdasarkan elektroda biomassa memiliki prospek untuk pengembangan komersial. Pada penelitian ini, batang karbon kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) digunakan sebagai elektroda pada baterai. Kangkung air diolah menjadi nanokarbon dengan metode hidrotermal dan pirolisis. Ukuran partikel nanokarbon dari kangkung dalam penelitian ini adalah 200 mesh yang dihasilkan dari metode penggilingan. Jenis baterai yang dibuat adalah baterai kantong dengan ukuran 8 cm x 12 cm dengan melakukan optimasi variabel dengan menggunakan konsentrasi media elektrolit LiCl/Li₂SO₄ 50%, sebagai bahan pengikat Polyurethane/Polyacrylate, dan variasi emulsi Triethylamine dan tidak menggunakan emulsifier. Nilai daya dan energi tertinggi dihasilkan dari baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air dengan media elektrolit LiCl, pengikat Poliuretan, dan emulsi Triethylamine yaitu 5,404 W dan 4,511 W.h.

Kata kunci: pengikat; karbon; media elektrolit; pengemulsi; lbaterai ithium-ion; kangkung air

SUMMARY

MANUFACTURE OF LITI-ION (LITHIUM-ION) BATTERIES WITH CARBON FROM WATER SPINACH (IPOMEA AQUATICA) AS ANODE

Scientific Papers in the form of Dissertation, December 2022

Budi Santoso, promoted by Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA IPU and co Promoter Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T

xiv+ 137 page 17 Picture 8 Table 1 Attachment

SUMMARY

Today, lithium-ion batteries still use electrodes from graphite, which is a natural resource for non-metallic minerals. As an ongoing plan, research on the manufacture of lithium-ion batteries based on biomass electrodes has prospects for commercial development. In this study, water spinach carbon rods (*Ipomoea Aquatica*) were used as electrodes in batteries. Water Spinach is treated into nanocarbons by hydrothermal and pyrolysis methods. The nanocarbon particle size of kale in this study is 200 mesh resulting from the grinding method. The type of battery made is a bag battery with a size of 8 cm x 12 cm by performing variable optimization using 50% LiCl / Li₂SO₄ electrolyte media concentration, Polyurethane / Polyacrylate binder, and Triethylamine / Non-emulsifier. The highest power and energy values are generated from carbon-based lithium-ion batteries from water kale with LiCl electrolyte media, Polyurethane binder, and Triethylamine emulsions of 5,404 W and 4,511 W.h.

Keywords: binder; carbon; electrolyte medium; emulsifiers; lithium-ion batteries; water kale

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Budi Santoso S.T.,M.T.
NIM : 03043681621013
Judul : Pembuatan Baterai Litium Ion Dengan Karbon
Kangkung Air (*Ipomea Aquatica*) Sebagai Anoda

Menyatakan bahwa Laporan Disertasi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi oleh Promotor dan Ko Promotor. Apabila ditemukan Unsur Penjiplakan/Plagiat dalam laporan Disertasi ini, saya bersedia menerima sanksi akademik yang Berlaku dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.



Palembang, 29 Desember 2022

Budi Santoso S.T.,M.T.
NIM. 03043681621013

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
RINGKASAN.....	vi
SUMMARY	vii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan Penelitian	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Biomassa.....	7
2.2. Kangkung Air.....	9
2.2.1. Anatomi Kangkung Air.....	11
2.2.2. Morfologi Kangkung Air	12
2.2.3. Unsur Kimia dalam Kangkung Air	12
2.3. Titanium.....	12
2.3.1. Keberadaan Unsur Titanium Di Alam	12
2.3.2. Sifat Titanium	13
2.4. Karbon.....	14
2.4.1. Alotrop Karbon	16
2.4.1.2. Grafit.....	18
2.5. Karbonisasi	21
2.5.1. Torefaksi	23
2.5.2. Pirolisis	27

2.5.2.1. Jenis Pirolisis	31
2.6.2. Studi Kinetika Pirolisis	33
2.7. Proses Pirolisis Menggunakan Microwave	35
2.8. Baterai	39
2.8.1. Jenis – Jenis Baterai	46
2.8.2. Baterai Litium Ion (LIBs)	47
2.8.3 Bagian-Bagian Pada Baterai Litium Ion	49
2.9. Metode Analisa dan Uji Kinerja Baterai	60
2.9.1. Cyclic Voltammetry (CV).....	60
2.9.2. Galvanostatic Charge Discharge (GCD).....	61
2.9.3 Penentuan Karakteristik Struktur Karbon	62
2.10. Fenomena Perpindahan Elektron Menjadi Arus Listrik.....	68
2.11. Metode untuk Pembuatan Nano Karbon	72
2.11.1. Metode Top Down	72
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	80
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	80
3.1.1. Tempat Penelitian	80
3.1.2. Waktu Penelitian	80
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	80
3.2.1. Bahan Penelitian	80
3.2.2. Peralatan Penelitian.....	80
3.3. Rancangan Penelitian	80
3.3.1. Variabel Penelitian	80
3.3.2. Tahapan Penelitian	81
3.3.2.1. Preparasi Karbon.....	81
3.3.2.2. Pembuatan Baterai	82
3.3.3. Karakterisasi Karbon	82
3.3.3.1 Karakterisasi Morfologi	82
3.3.3.2 Karakterisasi Kristalografi	83
3.3.3.3 Karakterisasi Gugus Fungsi	83
3.3.4 Pengujian Kinerja Baterai	83
3.3.4.1 Penentuan Daya dan Energi dari Pengukuran Cyclic Voltametry (CV)	83
3.3.4.2 Penentuan Kestabilan Siklus dan Kecepatan Pengisian-Pengosongan dengan Metoda Galvanostatic.....	84

3.3.5. Metode Pengolahan Data	85
3.3.6. Analisis Data.....	85
3.3.7. Diagram Alir Penelitian	86
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	88
4.1. PREPARASI BAHAN ANODA DARI KANGKUNG.....	88
4.2. PEMBUATAN BATERAI	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	4
5.2. Saran	117
DAFTAR PUSTAKA	118

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kelompok Utama Biomassa	8
Tabel 2.2 Karakteristik Beberapa Proses Dekomposisi Termal	30
Tabel 4 .1 Rancangan Matriks penelitian	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2..1. Klasifikasi Jenis Pembentuk Biomassa	9
Gambar 2.2. Kangkung darat (<i>Ipomoea reptans</i> Poir) dan Kangkung Air (<i>Ipomoea Aquatica</i>).....	10
Gambar 2. 3 Titanium (Anonim, 2011)	13
Gambar 2.4 Serbuk Karbon.....	15
Gambar 2.5 Struktur Intan (Anonim, 2011).....	17
Gambar 2.6 Bongkahan Grafit	18
Gambar 2.7 Struktur Grafit	19
Gambar 2.8 Struktur Fullerena.....	20
Gambar 2.9 Ikhtisar proses Hidrotermal dan aplikasi potensial dari hydrochar	22
Gambar 2.10. Flowsheet Reaktor Torefaksi	25
Gambar 2.11 Skema Pirolisis Biomassa	28
Gambar 2. 12 Pola Pemanasan Microwave.....	38
Gambar 2 13 Skema Kerja Baterai Litium Ion	48
Gambar 2.14 a.b. Sirkuit Terbuka dan Sirkuit Tertutup Milling	74
Gambar 2.15 Rasio Pengurangan Ukuran Material	74
Gambar 3 1 Diagram Alir Penelitian	86
Gambar 4.1 Laju pengeringan Batang Kangkung waktu Pengeringan 4 jam/hari.....	103

DAFTAR LAMPIRAN

Daftar Publikasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini transisi energi telah menjadi salah satu topik utama kepresidenan G20 di Indonesia. Ini jelas merupakan kesempatan yang baik bagi Indonesia untuk menunjukkan kepada dunia dukungannya terhadap transmisi energi, yang direplikasi melalui prototipe dan dukungan keuangannya dalam sejumlah program serupa.

Pada akhir abad ke 19, transisi dari biomassa ke batubara juga dilakukan, tetapi saat ini pentingnya transisi energi semakin meningkat. Trend transisi energi berubah menjadi meminimalkan penggunaan energi fosil. Transisi energi adalah konversi energi yang sebelumnya berbasis bahan bakar fosil menjadi energi hijau yang lebih ramah lingkungan. Transisi energi adalah implementasi dan komitmen negara-negara di dunia untuk bersepakat melindungi bumi dari ancaman perubahan iklim.

Transisi energi merupakan upaya untuk mengurangi risiko pemanasan global yang mengancam potensi kehidupan yang layak di masa depan. Transisi energi adalah jalan menuju transformasi berskala global di sektor energi. Ini mengacu pada transisi di sektor energi global dari sistem produksi dan konsumsi energi (gas alam, minyak dan batu bara) ke sumber energi terbarukan seperti angin, surya, dan baterai lithium-ion.

Insentif untuk terus membantu memerangi krisis iklim menjadikan transisi ke energi bersih sebagai salah satu cara terbaik untuk mendukung dekarbonisasi guna mencapai emisi nol bersih (NZE) pada tahun 2060. Hal ini dapat diimplementasikan dengan memaksimalkan peran sumber energi sekunder seperti energi listrik kedalam setiap sektor dan lini kebutuhan hidup. Saat ini padarogma konsumsi energi listrik terus bertransformasi dari piranti yang menggunakan listrik Arus Bolak Balik (Alternate Current) ke arah penggunaan listrik arus searah (Direct Current) .

Implementasi penggunaan arus listrik searah seperti Baterai dan penyimpanan energi akan menjadi teknologi utama transisi energi untuk mengatasi krisis iklim. Di hampir setiap skenario aksi global untuk mencegah perubahan iklim ekstrem, konsensusnya adalah bahwa listrik bebas karbon akan menggantikan bahan bakar fosil

untuk menopang perekonomian. Mobilitas, pemanasan, dan bahkan proses industri didukung oleh energi terbarukan seperti angin, matahari, dll.

Selaras dengan perubahan era industri menjadi 4.0 yang mengedepankan digitalisasi. Penggunaan baterai secara luas telah digunakan di gawai, laptop, dan bahkan kendaraan listrik (EV). Pertumbuhan pasar EV dan penyimpanan listrik stasioner membuat inovasi dalam teknologi baterai menjanjikan untuk masa depan. Bahkan berbagai badan internasional seperti World Economic Forum (WEF), International Energy Agency (IEA), International Renewable Energy Agency (IRENA) telah menyatakan bahwa teknologi baterai dapat mengubah transportasi dan produksi energi.

Baterai yang terhubung ke jaringan menyediakan pasokan energi terbarukan yang stabil. Sumber energi terbarukan yang sifatnya intermittent seperti energi angin dan surya, dapat disimpan dalam baterai dan diumpungkan kembali ke jaringan bila diperlukan. Perluasan pasokan listrik tersebut memainkan peran kunci dalam transisi ke energi bersih, karena dihasilkan dari sumber terbarukan dan tidak menimbulkan emisi. Dengan kapasitas energi terbarukan sebesar 3.686 gigawatt (GW), Indonesia memiliki potensi untuk mentransmisikan dan menghasilkan manfaat ekonomi meskipun penggunaan energinya minimal. Disisi lain yang menguntungkan, Indonesia kaya akan bahan mineral untuk produksi baterai, seperti lithium-ion, nikel, mangan, dan kobalt dan sangat berlimpah bahan baku untuk pembuatan Anoda berbasis Arang (Carbon).

Saat ini, baterai yang paling umum di mobil atau penyimpanan energi stasioner didasarkan pada teknologi lithium-ion. Baterai lithium pertama kali memasuki pasar pada awal 1990-an dan sekarang menjadi pilihan utama untuk mengisi semua perangkat elektronik, dari ponsel hingga mobil listrik. Permintaan baterai ini diperkirakan akan mencapai 9.300 gigawatt (GWh) pada akhir dekade ini (Statista, 2021). Permintaan baterai lithium-ion untuk transportasi kendaraan listrik dan penyimpanan energi tumbuh secara signifikan. Menurut Institut Riset Energi BloombergNEF (BNEF, 2021), peningkatannya hanya 0,5 GWh pada 2010 menjadi sekitar 526 GWh sepuluh tahun kemudian. Permintaan diperkirakan akan meningkat 17 kali lipat pada tahun 2030.

Baterai Lithium Ion termasuk kedalam jenis baterai Sekunder yang mempunyai bagian Elektroda, yaitu Katoda dan Anoda. Untuk Katoda, secara ekonomi dan oportunitas logam Litium yang dianggap mempunyai kapasitas untuk bersaing dibanding

logam sejenis. Indikator kerja baterai litium adalah kapasitas, kemampuan siklus elektrokimia yang bergantung kepada bahan anoda.

Pada bagian Anoda yang berfungsi untuk menghantarkan elektron saat peristiwa elektrokimia, Grafit masih dipakai untuk Material Anoda saat ini yang ternyata mempunyai beberapa kelemahan diantaranya tidak mampu diaplikasikan dalam kondisi arus tinggi ($>4C$), hanya bisa beroperasi pada potensial rendah dan pembentukan pola litium yang tidak teratur (dendritik) pada permukaan anoda grafit dan siklus hidup baterai yang pendek (Zhao, dkk., 2015). Untuk itu diperlukan sumber Karbon lain selain alotrof Karbon, Grafit yang mempunyai sifat dan kemampuan yang setara atau bahkan lebih dari Grafit.

Karbon aktif digunakan sebagai bahan anoda litium bertujuan untuk memperluas permukaan material dengan munculnya pori-pori pada material dan dapat meningkatkan sifat penyerapannya. Karbon Aktif dapat disintesa dari berbagai jenis biomassa yang ada di kawasan atau daerah tertentu yang mempunyai ragam dan jenis biota. Habitat biomassa yang terdapat di daerah tropis adalah habitat tanaman air

Di alam ada tumbuhan yang hidup di darat dan di air . Tumbuhan yang hidup di Air banyak jenis ditinjau dari habitat dan ekosistemnya. Habitat tanaman air laut ganggang / alga dan rumput lain dengan berbagai jenis variatas adalah tumbuhan yang lazim dikenal. Untuk habitat air tawar, yang lazim dikenal tanaman seperti Eceng Gondok, Apu apu, Rumput Air, Teratai, dan Kangkung. Dari penelitian telah dilakukan banyak pemanfaatan tumbuhan air tersebut diatas untuk dijadikan anoda pada baterai sekunder berbasis Lithium Ion

Anoda dari tumbuhan tumbuhan dapat bersaing dengan anoda berbasis grafit yang secara komersil telah digunakan hampir di seluruh aspek. Misalnya Mobil listrik. Grafit digolongkan sebagai bahan galian / mineral yang secara ekonomi, eksploitasi dan eksplorasinya membutuhkan banyak biaya.

Kangkung Air sebagai sumber biomassa yang ekosistem hayatinya sebagian besar ada di rawa-rawa dimana pertumbuhan dan perkembangbiakannya sangat cepat sehingga dapat mengganggu mahluk hidup yang ada di air. Pemanfaatan Kangkung Air adalah salah satu upaya untuk menjaga keseimbangan ekosistem air

Tumbuhan air banyak mengandung berbagai unsur logam yang dapat mengakselearsi perpindahan elektron dari anoda ke katoda. Perbedaan komposisi zat kimia didalam kangkung dapat dipenrahi oleh tempat tumbuh/ lokasi asal tumbuhan.

Penelitian tentang pemanfaatan Kangkung Air menjadi Penelitian Vega (2020) menggunakan karbon berbasis batang kangkung air sebagai anoda dan LiTiO_2 sebagai katoda. Pada batang kangkung air, karbon dihasilkan dari proses hidrotermal dan pirolisis sehingga menghasilkan karbon yang memiliki pori-pori yang berfungsi untuk menangkap dan melepas ion Li^+ . Katoda yang digunakan adalah LiTiO_2 yang dihasilkan dari proses hidrotermal dengan menggunakan suhu 180°C selama 24 jam. Karbon dan LiTiO_2 dimanfaatkan menjadi elektroda untuk menghasilkan baterai litium ion dengan skala laboratorium. Elektrolit yang digunakan adalah senyawa LiCl berbasis cair dan gel dengan masing-masing konsentrasi 10%, 20% dan 40%. Nilai energi dan daya tertinggi terdapat pada baterai dengan binder PU media elektrolit cair 20% dengan nilai energi sebesar $4,83 \times 10^{-3}$ W.h dan nilai daya sebesar $1,43 \times 10^{-1}$ W, sedangkan nilai energi dan daya terendah terdapat pada baterai dengan binder PU media elektrolit gel 10% dengan nilai energi sebesar $4,67 \times 10^{-7}$ W.h dan nilai daya sebesar $1,38 \times 10^{-5}$ W.

Penelitian yang dilakukan Felicia (2021) memanfaatkan kangkung air (*Ipomoea aquatica*) sebagai elektroda menghasilkan daya tertinggi sebesar 0,143 W dengan menggunakan media elektrolit cair 40% dan binder Polyurethane (PU). Pada penelitian ini digunakan variasi jenis elektrolit LiCl dan Li_2SO_4 , jenis binder PU dan refill tinta dan penambahan emulsi TEA untuk meningkatkan kinerja baterai. Baterai dengan elektrolit Li_2SO_4 40% dan menggunakan binder tinta serta penambahan emulsi memiliki nilai daya dan energi tertinggi yaitu sebesar 2,89 W dan 0,002 W.h.

Penelitian yang dilakukan oleh Endah (2021), melaporkan bahwa penggunaan karbon batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) sebagai elektroda pada baterai, variasi jenis binder yaitu binder Poliretane dan Politetrafluoroetilena (Teflon), variasi jenis elektrolit LiCl dan Li_2SO_4 serta pengaruh pemakaian emulsi Polietilen Glikol untuk melihat kinerja baterai yang dihasilkan. Nilai Energi dan daya tertinggi dimiliki oleh baterai binder Politetrafluoroetilena dengan elektrolit Li_2SO_4 tanpa pemakaian emulsi PEG yaitu sebesar $7,41993 \times 10^{-3}$ W dan $1,65 \times 10^{-3}$ W.h. Pada penelitian ini digunakan variasi jenis binder yaitu binder Polyurethane dan PTFE, variasi jenis elektrolit LiCl dan

Li₂SO₄ serta pengaruh pemakaian emulsi PEG untuk melihat kinerja baterai yang dihasilkan.

Penelitian oleh Arini (2022) menggunakan kangkung air sebagai bahan baku anoda. yang berasal dari kangkung air mempunyai pori-pori yang dapat digunakan pada anoda baterai litium ion. Sedangkan katoda yang digunakan adalah LiVO₃ yang dihasilkan dari proses hidrotermal antara LiCl, V₂O₅, dan NaOH. Proses hidrotermal dilakukan dengan menggunakan suhu 200°C selama 16 jam. Karbon kangkung air dan LiVO₃ dimanfaatkan menjadi anoda dan katoda pada baterai litium ion. Elektrolit yang digunakan adalah senyawa LiCl dengan media cair dan gel dengan masing-masing konsentrasi 10%, 20% dan 40%. Binder yang digunakan antara lain Polyurethane dan melamin. Baterai yang telah disusun lengkap diuji dengan analisa siklik voltametri dan galvanostatic charging-discharging. Pada hasil analisa siklik voltametri nilai arus yang tertinggi terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder Polyurethane yaitu sebesar 0,22A, sedangkan nilai daya, energi, dan kapasitas terbesar juga terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder Polyurethane yaitu nilai daya sebesar $5,36 \times 10^{-1}$ W, nilai energi sebesar $1,80 \times 10^{-2}$ Wh, dan nilai kapasitas sebesar $8,94 \times 10^{-1}$ F. Pada pengukuran galvanostatic charging-discharging, dihasilkan kurva pengisian dan pengosongan baterai litium ion. Baterai yang memiliki nilai slope pengosongan paling rendah adalah yang diinginkan karena artinya baterai tersebut dapat digunakan lebih lama. Slope pengosongan baterai terendah terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder PU yaitu sebesar -0,0039.

Dari informasi penelitian diatas dapat diambil sejumlah informasi, yaitu diantaranya belum adanya informasi pembanding antara baterai kancing yang dihasilkan oleh penelitian dengan baterai yang diproduksi secara komersil. Pada pemilihan elektrolit, dihasilkan kontradiksi data hasil pengukuran charge dan discharge antara elektrolit LiCl dengan LiSO₄

Penelitian yang akan dilakukan ini melihat adanya peluang keterbaruan dengan memproyeksikan potensi pemanfaatan kangkung air sebagai anoda pada baterai ion litium untuk menghasilkan baterai dengan daya dan energi yang lebih tinggi yang dapat digunakan untuk peralatan yang membutuhkan energi listrik yang lebih besar. Untuk itu dari semua hasil penelitian terdahulu akan dilakukan optimasi variabel sehingga

menghasilkan nilai yang optimum. Selain itu investigasi terhadap pengaruh tingkat kehalusan karbon aktif terhadap daya dan energi yang dihasilkan oleh baterai juga menjadi rencana penelitian

1.2. Permasalahan Penelitian

Dari studi literasi yang ada, didapatkan informasi bahwa hasil daya dan energi yang dihasilkan oleh baterai yang berbentuk kancing dinilai kecil daya dan energinya dibandingkan dengan daya dan energi baterai kancing komersil (Panasonic). Ini disebabkan oleh perlakuan awal pembuatan anoda dari kangkung air dengan cara penghalusan manual dan tidak dilakukannya pengukuran meshing mengakibatkan karbon aktif yang dihasilkan dengan tingkat kehalusan yang tidak merata.

Dari pernyataan diatas Permasalahan Penelitian ini apakah karakterisasi SEM, XRD, dan FTIR dari karbon kangkung air dari daerah Bukit Lama Palembang yang telah mengalami perlakuan pengurangan ukuran partikel berdampak pada kinerja baterai litium ion dengan menggunakan Titanium Oksida sebagai katoda dan karbon kangkung air sebagai anoda berdasarkan analisis nilai energi dan daya baterai dibandingkan dengan baterai kancing

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk Mengembangkan kangkung air dari daerah Bukit Lama sebagai bahan anoda pada baterai litium ion berbentuk baterai kantong (pouch battery)

1.4. Manfaat Penelitian

Produk Hasil penelitian yang telah didapatkan nantinya akan bermanfaat dalam ruang lingkup industri otomotif yaitu Baterai yang dihasilkan akan dikembangkan sehingga bisa digunakan untuk baterai kendaraan listrik (sepeda/motor listrik).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Karakteristik biomassa sangat mempengaruhi kinerja suatu bio-sistem konversi massal apakah itu ruang bakar, torrefier, pyrolyzer, atau gasifier. Pemahaman yang tepat tentang sifat fisik dan kimiabahan baku biomassa sangat penting untuk desain konversi biomassa yang andal.

Biomassa dikategorikan sebagai sumber energi yang berkelanjutan dan terbarukan, biomassa terus-menerus dibentuk oleh interaksi CO₂, udara, air, tanah, dan sinar matahari dengan tumbuhan dan hewan. Setelah organisme mati, mikroorganisme memecah bio-massa menjadi bagian-bagian penyusunnya seperti H₂O, CO₂, dan energi potensialnya. Seperti Karbondioksida, biomassa dilepaskan melalui aksi mikroorganisme atau pembakaran, diserap olehnya di masa lalu jadi, pembakaran biomassa tidak menambah total CO₂ pada bumi. Oleh karena itu Biomassa disebut atau netral GRK. Biomassa berasal dari botani (spesies tumbuhan) atau biologis (kotoran hewan atau bangkai), atau dari kombinasinya. Dengan demikian hanya mencakup spesies biologis yang hidup dan yang baru saja mati yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau produksi kimia. Biomassa tidak termasuk bahan organik yang berlebihan jutaan tahun telah diubah oleh proses geologis menjadi bahan bakar fosil seperti batu bara atau minyak bumi. Sumber umum biomassa adalah: Pertanian: biji-bijian makanan, ampas tebu (tebu yang dihancurkan), batang jagung, jerami, kulit biji, kulit kacang, dan kotoran sapi, unggas, dan babi. Hutan: pohon, sisa kayu, kayu atau kulit kayu, serbuk gergaji (Sawdust Waste), tebasan kayu, dan limbah pabrik. Sedangkan yang berasal dari wilayah Kota diantaranya adalah lumpur limbah, bahan bakar yang berasal dari sampah (RDF), sisa makanan, limbah kertas, dan klip halaman. Tanaman Energi: poplar, willow, switchgrass, alfalfa, prairie bluestem, jagung, dan kedelai, kanola, dan minyak tumbuhan lainnya. Biologis: kotoran hewan, spesies air, dan limbah biologis.

Biomassa berasal dari berbagai sumber seperti yang diberikan dalam Tabel 2.1 . Eropa komite standardisasi menerbitkan dua standar untuk klasifikasi dan spesifikasi (EN 14961) dan jaminan kualitas (EN 15234) biomassa. Berdasarkan asalnya, biomassa diklasifikasikan dalam empat kategori besar:

1. Biomassa kayu
2. Biomassa herba
3. Biomassa buah
4. Blend dan campuran.

Pohon, semak, dan semak berada di bawah biomassa kayu, tetapi bukan buah atau benih yang beberapa dari mereka menanggung. Biomassa herba adalah tanaman yang mati pada akhir musim tanam. Biomassa ini, bagaimanapun, termasuk biji-bijian dan sereal yang tumbuh di tanaman tersebut. Buah-buahan, meskipun diklasifikasikan sebagai terpisah dari empat kelompok, merupakan bagian dari tumbuhan berkayu. Selain itu, sumber biomassa juga memiliki campuran atau campuran biomassa. Campuran adalah pencampuran biomassa yang disengaja, sedangkan campuran adalah pencampuran biomassa yang tidak disengaja. Secara luas, biomassa mencakup semua tanaman dan bahan yang berasal dari tumbuhan, termasuk kotoran ternak. Biomassa primer atau murni berasal langsung dari tumbuhan atau hewan. Limbah atau biomassa turunan berasal dari biomassa yang berbeda-produk turunan. Tabel 2.1 dibawah ini adalah daftar berbagai jenis biomassa yang mengelompokkannya sebagai murni atau limbah. Biomassa juga dapat dibagi menjadi dua kelompok besar:

1. Biomassa perawan meliputi kayu, tumbuhan, dan daun (lignoselulosa), dan tanaman dan sayuran (karbohidrat).
2. Biomassa limbah meliputi limbah padat dan cair (limbah padat perkotaan)(MSW)); limbah, hewan, dan kotoran manusia; gas yang berasal dari TPA-ing (terutama metana); dan limbah pertanian.

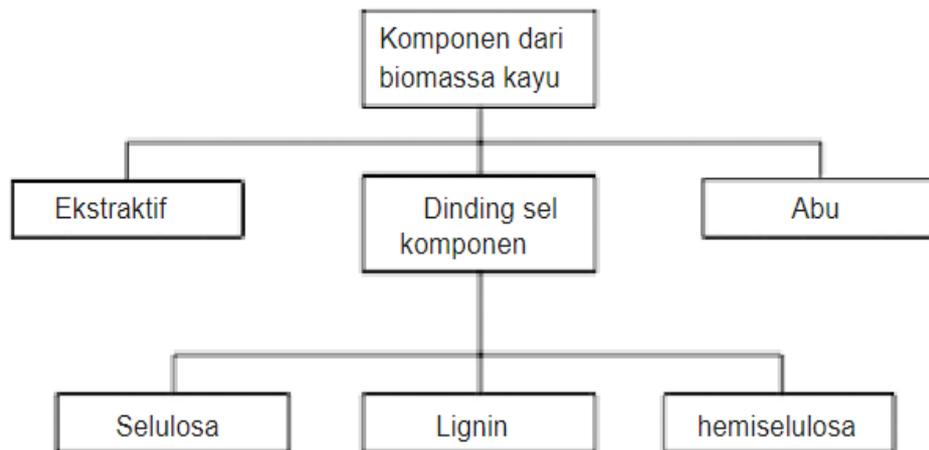
T0.1abel 2.1.Kelompok Utama Biomassa

No.	Jenis	Sumber	Ragam
1	Biomassa Murni	Biomassa Terestial	Biomassa hutan, Rumput Tanaman penghasil energi, Tanaman Budidaya
		Biomassa Akuatik	Ganggang, Tanaman Air (Eceng Gondok, Teratai, Kangkung, dll)
2	Limbah Biomassa	Limbah Pertanian	Pupuk Kandang, Sisa Panen,

No.	Jenis	Sumber	Ragam
		Sampah Kota	Gas TPA, Biosolid
		Residu Kehutanan	Kulit kayu, daun , sisa tanaman
		Limbah Industri	Serbuk Gergaji, Limbah minyak dan lemak

Sumber : Standard EN 14961

Biomassa adalah campuran kompleks bahan organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein, bersama dengan sejumlah kecil mineral seperti natrium, fosfor, kalsium, dan zat besi. Komponen utama biomassa tumbuhan adalah ekstraktif, serat atau komponen dinding sel, dan abu (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Klasifikasi Jenis Pembentuk Biomassa

2.2. Kangkung Air

Salah satu biomassa yang merupakan tanaman yang merupakan habitat tumbuhan air adalah kangkung. Kangkung yang dikenal dengan nama Latin *Ipomoea reptans* Poir terdiri dari 2 (dua) varietas, yaitu kangkung darat yang disebut kangkung cina dan kangkung air yang tumbuh secara alami di sawah, rawa atau parit-parit (Riri Nur Syiam, 2021). Tanaman ini dapat tumbuh dengan baik sepanjang tahun. Kangkung air yang memiliki nama latin *Ipomoea Aquatica*, merupakan tanaman air yang dapat ditemukan di wilayah Asia Tenggara, Cina bagian Tenggara dan India. Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dapat dengan mudah tumbuh pada daerah perairan seperti sungai,

sawah dan rawa-rawa dengan membentuk koloni yang besar. Selain itu, kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) juga dapat tumbuh dengan mudah pada daerah yang memiliki curah hujan sebesar 500 – 5000 mm/tahun dan dapat tumbuh pada kondisi nitrogen yang sangat terbatas, sehingga budidaya kangkung air dapat mudah dilakukan (Haryati, 2019).



Gambar 0.2.2. Kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir) dan Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*)

Kangkung air (Gambar 2.2) yang tumbuh dengan liar pada daerah perairan dapat mengganggu saluran air, penyempitan sungai atau kolam dan terganggunya hewan air. Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) tumbuh dengan cara merambat dan mengapung di atas air karena tumbuhan ini memiliki batang yang berongga untuk membantu menyalurkan oksigen ke akar, sehingga kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dapat tumbuh tegak di atas air dan hal ini dapat menyebabkan kematian hewan air karena menipisnya oksigen di dalam air. Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) diklasifikasikan kingdom plantae, divisi spermatophyte, subdivisi angiospermae, kelas dicotyledoneae, ordo tubiflorae, famili convolvulaceae, genus *Ipomoea*, spesies *Ipomoea aquatica* (Haryati, 2019).

Tanaman ini memiliki ciri-ciri dengan daun yang lebar dan licin berwarna hijau pekat. Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dapat menghasilkan bunga berwarna ungu dan putih. Dimana, pada setiap kantong bunga kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) mengandung empat biji benih. Batang pada kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) ini menjalar dan tegak pada pangkal daunnya. Budidaya pada tanaman kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) ini dapat dilakukan sepanjang tahun pada dataran tinggi ataupun dataran rendah dengan habitat yang memiliki genangan air seperti kolam, danau, waduk, sawah, rawa-rawa, sungai dan anak sungai.

Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) yang tumbuh pada daerah perairan yang tidak tercemar oleh logam berat seperti mercury, arsen, seng, tembaga dan nikel, baik untuk dikonsumsi karena kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) memiliki kandungan yang sangat diperlukan oleh tubuh seperti vitamin A yang baik untuk kesehatan mata, vitamin B1 untuk membantu metabolisme tubuh, vitamin C yang berguna untuk daya tahan atau kekebalan tubuh dan vitamin K yang baik untuk proses pembekuan darah. Selain itu, kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) juga mengandung kalsium, protein, karoten, zat besi, sitosterol, fosfor dan hentriakontan (Sari Puspita Ayu, 2015).

Pada Negara Filipina, kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) digunakan sebagai obat sembelit dan akarnya dapat dimanfaatkan sebagai obat wasir karena kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) memiliki kandungan serat yang tinggi. Dimana, kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) juga berfungsi sebagai penetralisir racun yang berada di dalam tubuh saat dikonsumsi. Zat besi yang terkandung pada kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) berperan penting dalam pembentukan hemoglobin, sehingga bagi penderita yang kekurangan darah, kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) baik untuk dikonsumsi. Selain itu, zat besi yang terkandung pada tanaman kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) ini juga dapat meningkatkan konsentrasi otak karena sel darah merah yang meningkat dapat menyebabkan aliran oksigen yang baik ke otak. Akan tetapi, Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) yang tumbuh pada daerah perairan yang tercemar oleh logam berat, jika dikonsumsi dapat menyebabkan rasa mual, pusing bahkan kematian.

2.2.1. Anatomi Kangkung Air

Akar kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) memiliki epidermis, endodermis, korteks dengan tipe tetra arch berongga udara dan pembuluh pengangkut (xylem dan floem). Akar dari kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) ini merupakan akar yang berjenis akar tunggang. Batang pada kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) terdiri dari peridermis, korteks, stele dan pembuluh pengangkut yang tersusun dari floem luar, xylem dan floem dalam. Batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) berwarna hijau dan mengandung kloroplas. Sehingga, batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) melakukan proses fotosintesis. Pada bagian batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) tidak memiliki empelur, sehingga batangnya memiliki rongga yang berfungsi sebagai tempat oksigen. Oleh karena itu, kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dapat tumbuh mengapung diatas air. Pada bagian daun kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) terdapat stomata yang bertipe

parasitik dan memiliki kandungan kloroplas sehingga dapat melakukan proses fotosintesis. Daun pada tanaman ini, terdiri dari epidermis atas, mesofil dan epidermis bawah.

2.2.2. Morfologi Kangkung Air

Akar pada kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dapat menembus kedalaman hingga 100 cm dan dapat menyebar secara horizontal pada radius hingga 150 cm. Batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) berbentuk bulat dan berlubang, sehingga banyak mengandung air. Batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) juga memiliki percabangan yang banyak dan akan tumbuh menjalar. Bentuk pada daun kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) ini, pada umumnya berbentuk tumpul ataupun meruncing dan memiliki warna daun bagian atas yang lebih pekat dari pada warna daun yang berada pada bagian bawah.

2.2.3. Unsur Kimia dalam Kangkung Air

Kangkung air baik sebagai tanaman endemik ataupun nonendemik banyak sekali ragam dan jenis varietas. Bukan hanya variabel variatas, tempat lokasi kangkung air tumbuh dan berkembang juga mempengaruhi sifat-sifat dari Kangkung baik secara, morfologi, anatomi maupun sifat kimia khususnya atom atom unsur didalam kandungan kangkung air.

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa berbagai daerah asal tempat hidup dan berkembang biaknya kangkung air berpengaruh pada sifat kimia. Arini (2022) mengambil sampel Kangkung dari daerah OKI, menemukan kandungan logam dan metal

2.3. Titanium

Titanium merupakan salah satu unsur kimia yang merupakan logam transisi dengan simbol Ti dan nomor atom 22 dalam tabel periodik unsur. Titanium merupakan logam yang tahan korosi, zat klorin dan air laut. Selain tahan korosi, titanium merupakan logam yang berstruktur kuat, ringan dan berkilau. Pada unsur titanium bilangan oksidasi +4 mendominasi keberadaannya, tetapi bilangan oksidasi +3 juga banyak ditemukan. Unsur titanium memiliki sifat ikatan kovalen yang tinggi karena unsur titanium memiliki bilangan oksidasi yang tinggi.

2.3.1. Keberadaan Unsur Titanium Di Alam

Keberadaan unsur titanium di alam (Gambar 2.3) dapat ditemukan di dalam matahari dan meteor. Keberadaan senyawa TiO_2 sebanyak 12,1% didapatkan dari bebatuan yang diambil oleh Apollo 17. Pada kerak bumi, unsur titanium menempati urutan ke-9 sebagai unsur terbanyak pada kerak bumi. Keberadaan unsur titanium selalu berada di dalam sedimen yang diambil dari bebatuan (igneous rocks). Selain itu, keberadaan unsur titanium juga terdapat pada biji besi, debu batubara, rutile, sphene dan dalam tubuh manusia.



Gambar2. 0.3 Titanium (Anonim, 2011)

Pada tahun 1946, seorang peneliti bernama Kroll menunjukkan cara memproduksi titanium secara komersil. Produksi titanium secara komersil, dilakukan dengan cara mereduksi titanium tetraklorida dengan magnesium. Hingga saat ini, cara memproduksi titanium yang ditunjukkan oleh Kroll masih digunakan sampai saat ini. Untuk memurnikan logam titanium dapat dilakukan dengan cara mendekomposisikan iodanya.

2.3.2. Sifat Titanium

2.3.2.1. Sifat Fisika Titanium

Pada titanium murni, titanium adalah logam yang berwarna putih ke abuan dan sangat bercahaya. Pada umumnya, titanium berbentuk padatan dengan nilai kepadatan mendekati $4,506 \text{ g/Cm}^2$. Titanium termasuk kedalam logam ringan yang letaknya berada diantara logam aluminium dan logam stainless steel, walaupun titanium termasuk logam yang ringan akan tetapi kekuatannya hampir sama dengan baja. Sehingga, logam titanium ini dapat digolongkan sebagai logam yang memiliki struktur kekerasan yang cukup tinggi, tidak bersifat magnetik dan

merupakan penghantar listrik yang buruk. Titanium mempunyai nilai titik lebur sebesar 1668°C , titik didih sebesar 3287°C dan nilai massa atomnya adalah $47,88 \text{ gr/mol}$. Sehingga, logam titanium ini dapat dipakai sebagai logam refractory. Logam titanium lebih baik dari pada

logam campuran tembaga nikel dalam hal pengikisan, dimana titanium lebih tahan 20 kali lebih besar.

2.3.2.2. Sifat Kimia Titanium

Titanium dapat dengan mudah dibentuk dan memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi. Ketahanan terhadap korosi juga hampir sama dengan platinum. Selain itu, titanium tahan terhadap asam sulfur, asam hidroklorida yang larut, gas klorin dan beberapa larutan garam. Titanium secara umum merupakan logam satu-satunya yang dapat terbakar saat dipanaskan di dalam nitrogen dan dikenal sangat kuat seperti baja tetapi hanya sekitar 60% dari berat baja.

Logam titanium merupakan logam yang reaktif secara termodinamik, akan tetapi logam titanium kurang reaktif terhadap air dan udara. Dalam suhu yang tinggi, titanium ini akan membentuk suatu lapisan pasif yang melindungi. Logam titanium ketika dinaikkan suhunya pada suhu di atas 610°C akan mudah terbakar dan akan membentuk titanium dioksida. Titanium akan terbakar dalam gas nitrogen murni dan menghasilkan titanium nitrit. Hasil titanium nitrit tersebut dapat menyebabkan kerapuhan pada logam titanium.

2.3.4. Penggunaan Titanium

Paduan titanium memiliki karakteristik yang kuat, tahan korosi dan ringan, sehingga titanium banyak digunakan pada pesawat ruang angkasa, rudal, kapal laut dan pipa untuk pembangkit listrik. Pada dunia industri, titanium banyak digunakan untuk membuat alat perpindahan panas (Heat Exchanger), pipa yang tahan terhadap korosi dan bejana yang digunakan pada tekanan yang tinggi.

Dalam bidang kedokteran, titanium dapat digunakan sebagai pengganti tulang tengkorak, struktur penahan katup jantung, bahan implant gigi dan penyambung tulang, karena bahan titanium aman digunakan.

2.4. Karbon

Karbon (Gambar 2.3) dilambangkan dengan simbol C dalam unsur periodik dan merupakan unsur kimia yang memiliki berat atom sebesar 12,0107 g/mol. Karbon memiliki nomor atom 6 dan memiliki struktur molekuler yang mudah menyatu dengan unsur lainnya. Sehingga, karbon merupakan salah satu unsur yang dapat membentuk banyak senyawa baru.



Gambar2. 0.4 Serbuk Karbon

Karbon di dalam tubuh manusia sangat berlimpah dan menduduki unsur kedua yang berlimpah pada tubuh manusia setelah oksigen. Kandungan karbon pada tubuh manusia sebesar 18,5%. Selain itu, karbon menduduki unsur keempat yang paling banyak di alam semesta dan unsur yang paling berlimpah ke-15 di kerak bumi. Karbon berasal dari bahasa latin yaitu carbo dan memiliki arti batubara. Karakteristik karbon dapat berubah-ubah, tergantung pada obligasi dalam membentuk senyawa yang baru.

Karbon termasuk unsur non logam yang memiliki nilai valensi 4 (tetravalen). Sehingga, karbon terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Sumber karbon berasal dari anorganik dan organik. Sumber yang berasal dari anorganik terdapat pada karbon dioksida, dolomit dan batu kapur. Sedangkan, sumber karbon yang berasal dari organik berasal dari organisme hidup yang mengandung unsur karbon. Karbon yang dihasilkan dari organisme hidup berasal dari proses pembusukan dan membentuk minyak bumi, tanah gambut, batu bara dan klatrat metana.

Pembuatan karbon juga dapat dilakukan dengan proses pirolisis dengan menggunakan bahan organik seperti daun apu-apu, serbuk kayu gelam dan enceng gondok. Pembuatan karbon yang berasal dari bahan organik cenderung lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan anorganik. Karena karbon yang berasal dari bahan organik

lebih ekonomis dan mudah didapat, maka karbon yang berasal dari bahan organik lebih memiliki nilai unggul dalam penggunaan skala besar. Karbon yang berasal dari bahan organik biasanya memiliki kandungan unsur tambahan yang dapat meningkatkan nilai kapasitas dari suatu baterai. Oleh karena itu, karbon yang bersasal dari bahan organik memiliki keunggulan sebagai elektroda pada baterai litium ion.

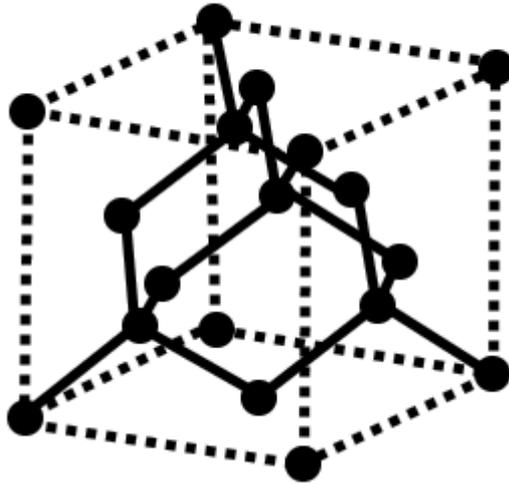
2.4.1. Alotrop Karbon

Alotrop karbon adalah keberadaan unsur karbon dalam dua atau lebih bentuk yang berbeda-beda. Karbon merupakan unsur kimia yang memiliki beberapa jenis alotrop. Salah satu alotrop karbon adalah intan, grafit, Fullerena dan karbon amorf. Sifat fisika dari unsur karbon bergantung pada jenis alotroponya. Jika alotrop karbon adalah intan, maka intan akan memiliki warna transparan. Sedangkan, jika alotrop karbon adalah grafit, maka grafit akan memiliki warna hitam.

Alotrop intan dan granit ditemukan di bumi sebagai mineral. Sedangkan alotrop bentuk lain merupakan alotrop karbon sintetik. Pada kondisi normal, semua alotrop karbon berbentuk padat. Pada sifat kristalinnya, alotrop karbon dibagi menjadi dua yaitu karbon kristalin dan karbon non kristalin. Yang termasuk karbon kristalin diantaranya adalah intan, grafit dan Fullerena. Sedangkan, yang termasuk karbon non kristalin seperti karbon aktif. Karbon aktif adalah karbon amorf yang memiliki porositas yang tinggi, sehingga karbon aktif merupakan absorben yang baik untuk adsorpsi gas, larutan maupun cairan.

2.4.1.1. Intan

Intan merupakan salah satu alotrop karbon yang memiliki materi terkeras di dunia. Secara alami, intan merupakan mineral yang langka, sederhana, seragam dan terdiri dari unsur karbon yang setiap atom karbon dikelilingi oleh 4 atom karbon (tetrahedral) dengan jarak sekitar 154,45 pm. membentuk ikatan kovalen yang kuat. Sehingga, struktur intan (Gambar 2.4) merupakan materi yang keras dan sangat cocok digunakan sebagai alat potong dan mata bor.



Gambar 2. 0.5 Struktur Intan (Anonim, 2011)

Intan terbentuk pada suhu dan tekanan yang tinggi, sekitar 100 mil dibawah permukaan bumi. Intan yang ditemukan pada permukaan bumi berasal dari letusan gunung berapi yang berasal dari magma mantel bumi dan menembus blok batuan mantel yang mengandung intan dan membawanya pada permukaan bumi tanpa mencair Blok batuan mantel yang mengandung intan disebut sebagai xenolith. Selain itu, intan dapat terbentuk dari tumbukan asteroid dengan permukaan bumi membentuk batuan meteor yang mengandung intan. Sifat intan yang memiliki refraksi, dispersi, kekerasan dan kilau yang tinggi menjadikan intan batu permata yang langka dan banyak digunakan sebagai perhiasan, alat potong dan mata bor.

1. Intan merupakan mineral alami yang paling keras, sehingga intan banyak digunakan sebagai alat untuk memotong, mengasah dan sebagai mata bor.
2. Memiliki titik leleh yang sangat tinggi yakni $4827\text{ }^{\circ}\text{C}$). Hal ini disebabkan Ikatan kovalen karbon-karbon yang terbentuk pada struktur intan sangat kuat bahkan lebih kuat dari ikatan ionik.
3. Berupa isolator namun dapat menyerap panas dengan sangat baik. Daya hantar listrik intan berkaitan dengan elektron yang digunakan untuk membentuk ikatan, dimana pada intan elektron-elektron berikatan sangat kuat sehingga tidak ada elektron yang bebas bergerak ketika diberi beda potensial. Sifat penyerap panas yang baik dari intan diaplikasikan pada peralatan elektronik untuk menyerap panas yang dihasilkan ketika peralatan elektronik digunakan. Dengan melapisi intan

pada konduktor dalam peralatan elektronik maka suhu peralatan tersebut dapat dijaga relatif konstan sehingga peralatan tersebut dapat berfungsi secara normal.

4. Tidak larut dalam air dan pelarut organik. Dalam hal ini tidak memungkinkan terjadinya daya tarik antara molekul pelarut dan atom karbon yang dapat membongkar dayatarik antara atom-atom karbon yang berikatan secara kovalen. Akibat pelarut tidak mampu mensolvasi molekul intan.

2.4.1.2. Grafit

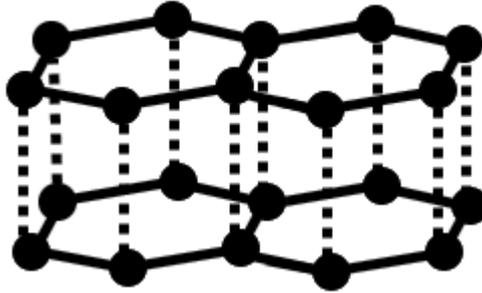
Grafit atau disebut juga timbal hitam (Gambar 2.5) adalah zat padat hitam yang secara fisik kekerasannya lebih lunak dibandingkan dengan intan. Grafit merupakan alotrop karbon yang terdiri dari lapisan atom karbon yang bersifat licin dan mudah bergeser dengan mudah. Oleh karena itu, grafit sangat lunak dan dapat digunakan sebagai minyak pelumas dalam peralatan mekanis.

Grafit berwarna hitam yang disebabkan oleh delokalisasi elektron antar permukaannya. Grafit merupakan konduktor listrik dan panas yang sangat baik, sehingga grafit dapat digunakan sebagai elektroda pada sel elektrolisis. Daya hantar listrik pada grafit dipengaruhi oleh elektron yang tidak digunakan untuk membentuk ikatan kovalen.



Gambar 2. 0.6 Bongkahan Grafit

Ikatan kovalen pada setiap lapisan grafit tergolong lemah jika dibandingkan dengan ikatan kovalen pada antar atom dalam satu lapisan. Sehingga, lapisan atas pada grafit bersifat licin dan mudah bergeser. Hal ini menyebabkan grafit memiliki sifat lunak.



Gambar 2. 0.7 Struktur Grafit

Ikatan kovalen yang terbentuk pada grafit sangat kuat, sehingga grafit memiliki titik leleh yang tinggi dan memerlukan energi yang besar untuk memutuskan ikatannya. Massa jenis pada grafit sangat kecil karena struktur pada grafit (Gambar 2.6) memiliki ruang kosong antar lipatannya berupa konduktor listrik dan panas yang baik, sehingga grafit baik digunakan sebagai anoda pada baterai (Sel Leclanche) dan sebagai elektroda pada sel elektrolisis (Srivatava and Wei, 2003). Secara umum, grafit banyak ditemukan pada Negara Amerika Serikat, Kanada dan Sri Langka.

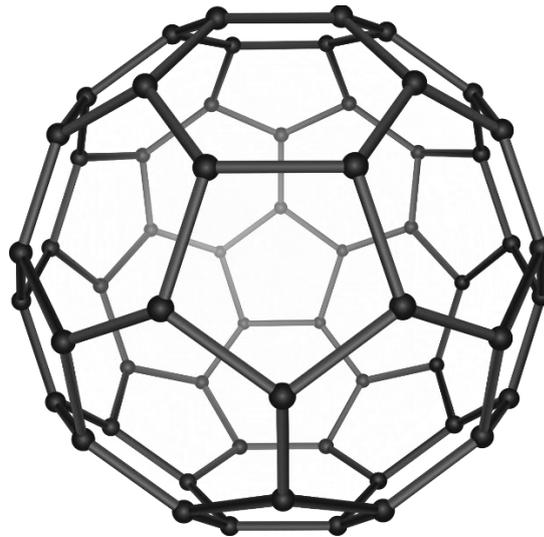
Sifat dan Kegunaan Grafit diantaranya adalah ;

1. Memiliki titik leleh tinggi, sama seperti intan. Hal ini disebabkan ikatan kovalen yang terbentuk sangat kuat sehingga diperlukan energi yang tinggi untuk memutuskannya.
2. Memiliki sifat lunak, terasa licin dan digunakan pada pensil setelah dicampurkan tanah liat.
3. Tidak larut dalam air dan pelarut organik, karena tidak mampu mensolvasi molekul grafit yang sangat besar.
4. Dibandingkan intan, grafit memiliki massa jenis yang lebih kecil, karena pada strukturnya terdapat ruang-ruang kosong antar lipatannya.
5. Berupa konduktor listrik dan panas yang baik. Karena sifat ini grafit digunakan sebagai anoda pada baterai (sel Leclanche) dan sebagai elektroda pada sel elektrolisis.

2.4.1.3. Fullerena

Fullerena adalah salah satu alotrop karbon yang tersusun atas karbon yang berikatan kovalen berkonjugasi membentuk struktur yang menyerupai bola. Fullerena yang paling dikenal adalah Fullerena yang memiliki karbon murni sebanyak 60 atom dan disebut sebagai C60 karena bentuknya yang unik seperti bola yang tersusun dari 20 cincin hexagonal dan 12 cincin pentagonal. Selain Fullerena C60, beberapa jenis Fullerena yang dikenal diantaranya adalah C70 dan C120.

Fullerena memiliki unsur karbon yang simetris, sehingga penemuan Fullerena menciptakan temuan baru berupa carbon nanotube (CNT) yang berbentuk silinder yang sangat digunakan dalam bidang teknologi nano. Struktur Fullerena (Gambar 2.7) tidak jauh berbeda dengan struktur pada grafit, dimana struktur Fullerena tersusun atas lembaran yang bertumpuk membentuk cincin heksagonal yang terhubung dan dalam beberapa kasus mengandung cincin pentagonal atau heptagonal yang mencegah lembaran membentuk planar.



Gambar 2.0.8 Struktur Fullerena

Fullerena bersifat dapat larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air. Fullerena dapat digunakan sebagai superkonduktor karena Fullerena adalah penyerap panas yang sangat baik. Fullerena memiliki sifat fisik yang kuat dan stabil. Secara kimiawi, Fullerena memiliki ikatan kovalen di seluruh permukaannya, sehingga Fullerena sangat mudah bereaksi.

2.4.1.4. Karbon Amorf

Karbon amorf adalah salah satu alotrop karbon yang tidak memiliki struktur kristal. Bentuk karbon amorf seperti batu bara, arang, jelaga dan kokas. Pada struktur karbon amorf, dapat ditemukan kristal yang sangat kecil yang mirip dengan kristal kecil pada intan dan grafit.

Karbon amorf dapat digunakan sebagai zat warna hitam, bahan bakar, pereduksi pada proses peleburan logam, tinta cetak dan sebagai adsorben yang dapat menyerap gas beracun, berupa bauan, kotoran dalam larutan dan mikroorganisme.

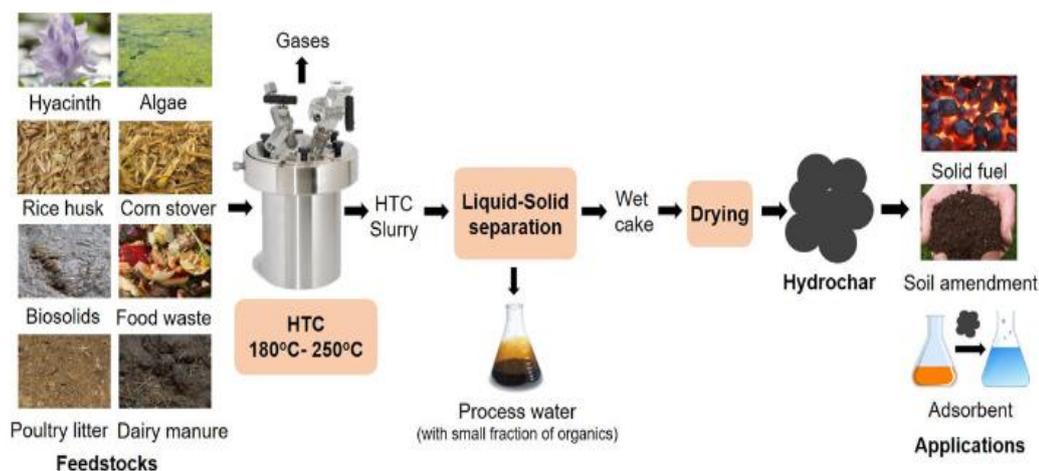
2.5. Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses konversi termokimia yang menggunakan panas untuk mengubah bahan baku biomassa basah menjadi arang. dilakukan dalam reaktor pada suhu berkisar antara 356 hingga 482°F, yaitu 180 hingga 250 °C, di bawah tekanan autogenous (dihasilkan secara otomatis), dengan waktu tinggal bahan baku berkisar antara 0,5 hingga 8 jam [Ahmad, F., Silva, EL, & Varesche, MBA (2018).

Keuntungan utama hidrotermal dibandingkan teknik konversi termokimia suhu tinggi lainnya seperti pirolisis, adalah proses hidrotermal mengolah limbah basah, yang memungkinkan bahan baku dikonversi tanpa pra-pengeringan. Berbagai macam bahan baku, termasuk biomassa akuatik, residu pertanian, dan limbah industri dan hewan, cocok untuk hidrotermal [Pandey, B., Prajapati, YK, & Sheth, PN (2019).

Air bertindak sebagai media yang baik untuk perpindahan panas di hidrotermal, tetapi jika variabilitas dalam ukuran partikel bahan baku terlalu besar dan waktu reaksi terlalu singkat, mungkin ada beberapa keterbatasan perpindahan massa. Oleh karena itu, ukuran partikel harus homogen untuk memastikan perpindahan panas dan massa yang seragam.

Bahan baku yang diumpankan ke dalam reaktor dipanaskan sampai suhu tertentu dan ditahan selama waktu tinggal tertentu. Gas (terutama CO₂) dan pulp slurry (terutama air dengan fraksi kecil organik dan padatan) diproduksi selama hidrotermal. Kemudian pulp slurry disentrifugasi atau disaring untuk memisahkan air proses dan padatan yang kemudian dikeringkan untuk menghasilkan hydrochar yang kaya karbon.



Gambar 2. 0.9 Ikhtisar proses Hidrotermal dan aplikasi potensial dari hydrochar (sumber : Pandey, B., Prajapati, YK, & Sheth, PN (2019))

Beberapa reaksi terjadi selama proses hidrotermal, yaitu hidrolisis (reaksi dengan air), dehidrasi (penghilangan air), dekarboksilasi (penghilangan gugus karboksil yang menghasilkan pelepasan CO_2), dan aromatisasi (pembentukan senyawa aromatik). Reaksi-reaksi ini terjadi di bawah suhu dan tekanan tinggi dan memainkan peran penting dalam menurunkan rasio hidrogen menjadi karbon (H/C) dan oksigen terhadap karbon (O/C) untuk menghasilkan arang hidro yang kaya karbon. Hydrochar dianggap sebagai produk utama, karena sifatnya memungkinkan untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti bahan bakar padat, adsorben untuk menghilangkan polutan dari aliran air / air limbah, misalnya fosfor dari limpasan pertanian, dan amandemen tanah [Zhang, Z., et.al (2019)]. Distribusi produk padat, cair, dan gas sebagian besar dipengaruhi oleh pilihan bahan baku dan kondisi proses, terutama suhu dan waktu tinggal. Hasil arang hidro, rasio arang hidro terhadap berat kering bahan baku (Persamaan 1), tergantung pada jenis bahan baku, pemuatan padatan (rasio bahan baku dengan air), dan suhu proses dan waktu tinggal (Tabel 1). Secara umum, hasil hydrochar menurun dengan meningkatnya keparahan kondisi proses, yaitu suhu yang lebih tinggi

2.5.1. Torefaksi

Torefaksi adalah proses termokimia dalam lingkungan oksigen yang inert atau terbatas di mana biomassa perlahan-lahan dipanaskan dalam kisaran suhu tertentu dan dipertahankan di sana selamawaktu yang ditentukan sedemikian rupa sehingga menghasilkan degradasi hemiselulosa yang hampir sempurnakonten sambil memaksimalkan hasil massa dan energi dari produk padat. Kisaran suhu khas untuk proses ini adalah antara 200C dan 300C (Bergman et al., 2005). Meskipun rentang lain (Tabel 4.1) telah disarankan, tidak ada yang melebihi suhu maksimum 300C. Torefaksi di atas ini suhu akan menghasilkan devolatilisasi dan karbonisasi ekstensif dari polimer yang keduanya tidak diinginkan untuk torefaksi (Bergman et al., 2005). Juga, hilangnya lignin dalam biomassa sangat tinggi di atas 300C. Kerugian ini bisa mempersulit pembentukan pelet dari produk torrefied. Selanjutnya, cepat ada perengkahan selulosa yang menyebabkan tar formasi dimulai pada suhu 320°C (Prins et al., 2006). Alasan-alasan ini memperbaiki batas atas torefaksisuhu 300C.

Aspek penting lain dari definisi torefaksi adalah konsentrasi oksigen. ion dalam reaktor. Studi (Basu et al., 2013; Uemura et al., 2011) tentang efeknya konsentrasi oksigen pada torefaksi menunjukkan bahwa tidak penting untuk lingkungan bebas oksigen untuk torefaksi. Kehadiran sejumlah kecil oksigen dapat ditoleransi dan bahkan mungkin memiliki efek menguntungkan pada torefaksi.

Motivasi utama torrefaksi adalah membuat biomassa kehilangan seratnya alam sedemikian rupa sehingga mudah digiling, sementara masih memungkinkan untuk dibentuk menjadi pelet tanpa pengikat. Persyaratan seperti itu membatasi suhu torrefaksi kisaran 200v 300C. Laju pemanasan yang lambat merupakan karakteristik penting dari torrefaksi. Tidak seperti di pirolisis, laju pemanasan dalam torrefaksi harus cukup lambat untuk memungkinkan memaksimalkan hasil padat dari proses. Biasanya laju pemanasan torsi refraksi kurang dari 50C/menit (Bergman et al., 2005). Tingkat pemanasan yang lebih tinggi

akan meningkatkan hasil cair dengan mengorbankan produk padat seperti yang dilakukan untuk pirolisis Dekomposisi termal biomassa terjadi melalui serangkaian reaksi kimia reaksi ditambah dengan perpindahan panas dan massa. Dalam kisaran suhu dari 100 sampai 260C, hemiselulosa secara kimiawi paling aktif, tetapi degradasi utamanya tanggal mulai di atas 200C. Selulosa terdegradasi pada suhu yang lebih tinggi (275C),

tapi degradasi utamanya terjadi dalam suhu sekitar 350C (Chen et al., 2011). Lignin terdegradasi secara bertahap selama kisaran suhu 250 sampai 500C

Proses torrefaction terkadang dikacaukan dengan proses terkait seperti karbonisasi, pirolisis ringan, pemanggangan, dan pemasakan kayu, tetapi tujuan dan kondisi proses dari proses ini tidak harus sama. Tujuan utama torrefaction adalah untuk meningkatkan kepadatan energi biomassa dengan meningkatkan kandungan karbonnya sambil mengurangi oksigen dan hidrogen. Tujuan ini mirip dengan karbonisasi yang menghasilkan arang tetapi dengan perbedaan penting bahwa yang terakhir tidak mempertahankan sejumlah besar energi biomassa, dan dengan demikian memberikan hasil energi yang rendah.

Perbedaan antara torrefaction, pirolisis, dan karbonisasi digambarkan lebih lanjut di bagian ini dan di Tabel 4.2. Pirolisis, karbonisasi, dan torrefaksi adalah bagian dari termal proses dekomposisi biomassa. Tabel 4.2 menggambarkan perubahan yang terjadi ketika sepotong kayu atau biomassa apapun dipanaskan dalam atmosfer inert. Meskipun proses degradasi termal terdaftar sebagai proses berurutan yang terpisah mereka bisa tumpang tindih satu sama lain sampai batas tertentu selama proses pemanasan.

Setiap proses memiliki motivasinya sendiri. Misalnya, motivasi utama dari pirolisis adalah produksi barang cair, sedangkan karbonisasi adalah padat. Istilah "pirolisis" berarti dekomposisi termal atau perubahan kimia disebabkan oleh panas (lihat Bab 5). Definisi kamus ini dapat mencakup torrefaction, karbonisasi, dan proses pirolisis, tetapi umumnya kami menggunakan istilah "pirolisis" dalam arti yang lebih terbatas untuk proses termal untuk produksi ekstrak cair dari biomassa.

Karbonisasi mungkin merupakan proses konversi biomassa tertua yang datang untuk melayani umat manusia. Ini membutuhkan suhu yang relatif tinggi dan proses lambat dan lama (Tabel 4.2). Selama berabad-abad, orang telah menggunakan karbonisasi untuk menghasilkan arang dari biomassa. Arang telah digunakan untuk ribuan tahun untuk banyak aplikasi termasuk pemanasan, produksi bubuk mesiu, dan ekstraksi logam. Bahkan sekarang, arang memiliki kandungan penting penggunaan komersial dalam sejumlah aplikasi termasuk yang berikut:

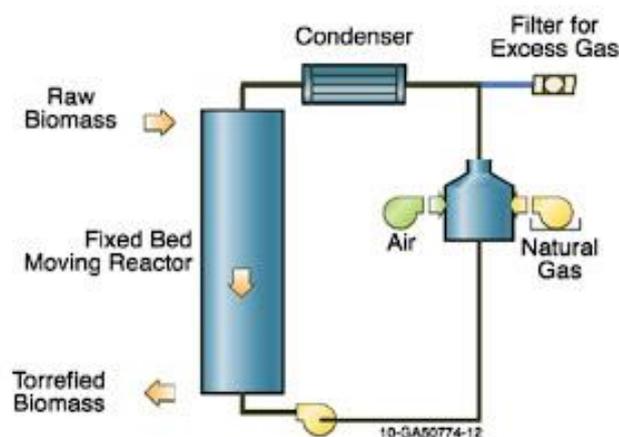
- a. Bahan bakar dalam oven domestik atau barbeque. Bahan bakar untuk pembangkit uap atau semen produksi.

- b. Reduktor dalam industri metalurgi.
- c. Filter media untuk filter air.
- d. Tempat penangkapan dan reaksi polutan di industri kimia.
- e. Sebagai elektroda dalam peralatan elektrokimia seperti baterai dan kapasitor

Proses karbonisasi tradisional menggunakan retort sarang lebah (Gambar 5.2) dimana kayu ditumpuk di dalam lubang tertutup lumpur untuk membatasi masuknya udara, dan dinyalakan di pangkalan. Sebagian dari panas pembakaran menyediakan energi yang dibutuhkan untuk karbonisasi.

Torefaksi adalah pengolahan secara termal terhadap biomassa pada temperatur 230°C sampai 280°C dalam keadaan tanpa udara dan dalam waktu yang singkat sekitar 2 jam (Felfi, dkk., 2005). Dalam proses ini hemiselulosa terdegradasi sedangkan kandungan lignin dan selulosanya tetap (Bourgeois, 1984; Doat, 1985). Biomassa yang telah mengalami proses torefaksi akan memberikan beberapa keuntungan antara lain kandungan airnya menjadi rendah, sedikit mengeluarkan asap, dan nilai panasnya juga meningkat (Arcate, 2002; Pach, dkk., 2002; Girard dan Shah, 1991).

Keuntungan dari proses torefaksi ialah pembakaran bahan bakar lebih bersih dan asap yang dihasilkan mengandung kandungan asam yang rendah, membutuhkan suhu yang relatif rendah yang otomatis menghemat energi bumi dan menyumbang banyak energi bagi bumi, ketika hasil dari torefaksi disimpan maka biomassa hasil torefaksi tersebut tidak lagi mengandung banyak moisture, dan dapat memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Berikut ialah contoh diagram alir proses torefaksi:



Gambar 2. 0.10. Flowsheet Reaktor Torefaksi (sumber : Asabe Paper, Paper Number: 1110459)

Biomassa yang sudah melalui proses Torefaksi akan lebih mudah disimpan juga lebih mudah untuk dikonversi ke bentuk lain seperti dijadikan biofuel atau dibentuk menjadi bio-coal (batubara).

Hasil utama proses ini berupa padatan yang kering dan tahan air, mudah untuk dihancurkan sehingga bisa dibentuk menjadi pelet yang lebih padat, juga bisa menjadi bahan bakar yang lebih bernilai. Tahun 2009, Azhar dan Heri membuat bahan bakar padat dari biomassa bambu dengan proses torefaksi dan densifikasi. Proses torefaksi berhasil dilakukan pada suhu 200-300°C dan diperoleh produk arang yang, memiliki sifat getas, hidrofobik dan kandungan air yang menurun. Densitas briket bambu berpengaruh terhadap nilai bakarnya. Briket bambu dengan densitas lebih besar memiliki nilai bakar lebih tinggi. Laju keterbakaran briket dari bambu hasil torefaksi dipengaruhi oleh densitas. Briket dengan densitas lebih tinggi laju keterbakarannya lebih kecil. Proses torefaksi dan densifikasi dapat meningkatkan persentase kandungan karbon dan nilai bakar bambu sekitar 19-20% pada suhu 200-300°C.

Berbagai tahap pemanasan dalam torefaksi dibagi dalam beberapa tahapan yaitu Prapengeringan adalah langkah pertama dalam proses. Ketika biomassa dipanaskan dari ruangan dengan suhu pengeringan (100°C), suhunya naik terus menerima panas sensibel dari reaktor atau media pemanas. Untuk pemanasan pra-pengeringan, dibutuhkan panas yang cukup kecil. Selanjutnya adalah tahap pengeringan yang merupakan langkah torrefaksi yang paling intensif mengkonsumsi energi terutama untuk biomassa dengan kelembapan tinggi karena kelembapan dalam biomassa diuapkan selama tahap ini. Ada sedikit perubahan dalam suhu biomassa sebagai penguapan berlangsung pada suhu konstan sampai semua permukaan kelembapan atau air bebas didorong. Suhu mulai naik setelah kelembapan kritis tercapai ketika laju penguapan mulai berkurang. Tahap ini membuat tulang biomassa menjadi kering. Dalam kebanyakan kasus, seseorang mencatat tajam peningkatan total permintaan energi pada tahap ini

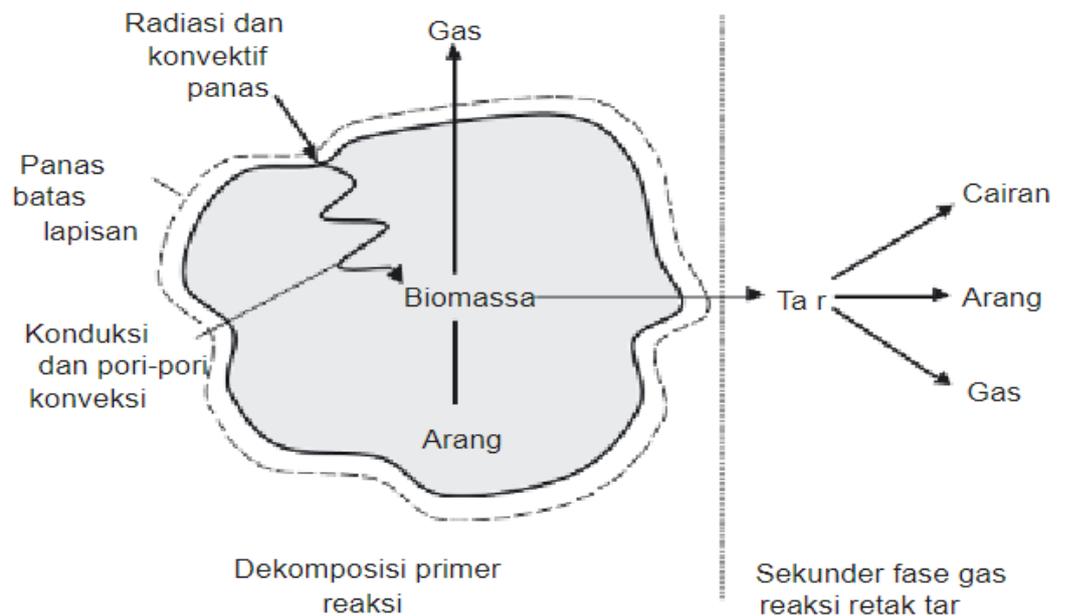
Tahapan selanjutnya adalah Pemanasan Pasca Pengeringan. Setelah biomassa dikeringkan, perlu dipanaskan lebih lanjut ke desain suhu Torefaksi, T_t . Suhu ini umumnya lebih dari 200°C karena sangat sedikit dekomposisi biomassa terjadi di bawah suhu ini. Selama tahap ini, semua kelembapan terikat secara fisik bersama dengan beberapa cahaya senyawa organik lolos dari biomassa (Bergman et al., 2005).

Tahap torrefaksi adalah kunci untuk keseluruhan proses karena sebagian besar depolimerisasi biomassa berlangsung dalam tahap ini. Jumlah waktu tertentu adalah diperlukan untuk memungkinkan tingkat depolimerisasi biomassa yang diinginkan terjadi. Tingkat torrefaksi tergantung pada suhu reaksi sebagai serta pada saat biomassa mengalami torrefaksi. Fase ini disebut waktu tinggal reaktor atau waktu torrefaksi. Waktu torrefaksi harus diukur dari saat biomassa mencapai suhu untuk permulaan torrefaction (200°C) karena derajat-radiasi biomassa di bawah suhu ini dapat diabaikan. Untuk sifatnya torrefaksi agak eksotermik (Prins, 2005) pada kisaran suhu 250°C – 300°C. Jadi, kecuali untuk kehilangan panas, tahap torrefaction harus membutuhkan energi yang sangat kecil

2.5.2. Pirolisis

Pirolisis adalah suatu proses untuk memperoleh karbon dari zat organik yang mengandung unsur karbon dan merupakan proses pemanasan pada temperatur tertentu dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Reaksi eksotermis dan endotermis dapat terjadi pada proses pirolisis atau disebut juga karbonisasi, hal ini tergantung pada proses reaksi kimia, temperatur, sifat reaksi dan perubahan fisik atau kimiawi yang terjadi. Proses pirolisis biasanya dilakukan di dalam furnace, microwave dan tungku yang bertemperatur $\pm 800^{\circ}\text{C}$ dalam lingkungan inert. Pada umumnya, proses pirolisis yang menghasilkan arang dengan struktur mikropori terjadi pada temperatur $\pm 500^{\circ}\text{C}$.

Pada proses pirolisis, zat yang mudah terbakar seperti CH_4 , CO dan H_2 serta zat yang tidak mudah terbakar seperti H_2O dan CO_2 akan dilepaskan dan zat tersebut memiliki nilai kalor tinggi yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses pirolisis. Proses pirolisis menyebabkan penguraian zat organik membentuk karbon dan material padat yang dihasilkan pada proses pirolisis merupakan karbon yang berbentuk arang dengan pori-pori yang sangat kecil.



Gambar 2. 0.11 Skema Pirolisis Biomassa

Produk awal pirolisis terbuat dari gas dan padatan yang dapat dikondensasi arang. Gas yang dapat terkondensasi dapat terurai lebih lanjut menjadi yang tidak dapat terkondensasi gas (CO , CO_2 , H_2 , dan CH_4), cair, dan arang (Gambar 5.4). Dekomposisi ini terjadi sebagian melalui reaksi homogen fase gas dan sebagian melalui gas reaksi termal heterogen fase padat. Dalam fase gas reaksi, uap terkondensasi dipecah menjadi molekul yang lebih kecil dari non-gas permanen yang dapat terkondensasi seperti CO dan CO_2 .

Pirolisis melibatkan pemecahan molekul besar yang kompleks menjadi beberapa molekul yang lebih kecil. Produknya diklasifikasikan menjadi 3 jenis utama:

- Cairan (ter, hidrokarbon yang lebih berat, dan air)
- Padat (kebanyakan arang atau karbon)
- Gas (misalnya, CO_2 , H_2O , CO , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_6H_6)

Jumlah relatif dari produk ini tergantung pada beberapa faktor termasuk: laju pemanasan dan suhu akhir yang dicapai oleh biomassa. Produk pirolisis tidak harus bingung dengan "bahan yang mudah menguap" bahan bakar sebagaimana ditentukan oleh analisis proksimatnya. Dalam analisis proksimat, hasil cair dan gas sering disatukan sebagai "bahan yang mudah menguap," dan hasil arang sebagai "karbon tetap." Karena fraksi relatif dari pirolisis hasil tergantung pada banyak faktor operasi, penentuan bahan

yang mudah menguap bahan bakar memerlukan penggunaan kondisi standar seperti yang ditentukan dalam kode uji seperti ASTM D-3172 dan D-3175. Prosedur yang diatur dalam D-3175, untuk contoh, melibatkan pemanasan sampel bahan bakar tertentu dalam tungku pada temperatur 950°C selama 7 menit untuk mengukur zat yang mudah menguap.

Produk berfase cair yang dikenal sebagai tar, bio-oil, atau biocrude, adalah cairan tar hitam mengandung air hingga 20%. Ini terutama terdiri dari senyawa fenolik homolog. Bio-oil merupakan campuran dari hidrokarbon kompleks dengan jumlah yang banyak dari oksigen dan air. Sedangkan biomassa induk memiliki nilai kalor yang lebih rendah (LHV) di kisaran 19,521 MJ/kg basis kering, hasil cairnya lebih rendah LHV di kisaran 1318 MJ/kg basis basah (Diebold et al., 2007). Depolimerisasi dan fragmentasi sel yang cepat dan simultan kehilangan, hemiselulosa, dan lignin komponen biomassa menghasilkan bio-minyak. Di sebuah operasi khas, biomassa mengalami peningkatan suhu yang cepat diikuti dengan pendinginan segera untuk "membekukan" pirolisis menengah produk. Pendinginan cepat penting, karena mencegah degradasi lebih lanjut, pembelahan, atau reaksi dengan molekul lain

Bio-oil adalah mikro emulsi, di mana fase kontinu adalah air larutan produk dekomposisi selulosa dan hemiselulosa, dan molekul kecil dari dekomposisi lignin. Fase diskontinu adalah sebagian besar terdiri dari makromolekul lignin pirolitik (Piskorz et al., 1988). Bio-oil biasanya mengandung fragmen molekul selulosa, hemiselulosa, dan polimer lignin yang lolos dari lingkungan pirolisis (Diebold dan Bridgewater, 2017). Berat molekul bio-oil kental mungkin melebihi 500 Dalton. Senyawa yang ditemukan dalam bio-minyak jatuh ke dalam lima kategori besar berikut (Piskorz et al., 1988): Hidroksi aldehida Hidroksiketona Gula dan dehidrogula Asam karboksilat Senyawa fenolik.

Adapun Biochar adalah hasil pirolisis padat. Produk ini terutama karbon (85%), tapi itu juga dapat mengandung beberapa oksigen dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar fosil, biomassa mengandung sangat sedikit abu anorganik. LHV arang biomassa adalah sekitar 32 MJ/kg (Diebold dan Bridgewater, 2017), yang secara substansial lebih tinggi daripada biomassa induk atau produk cairnya. Hal ini ditandai dengan pori-pori yang besar luas permukaan.

Dekomposisi utama biomassa menghasilkan gas terkondensasi (uap) dan gas yang tidak terkondensasi (gas primer). Uap, yang dibuat molekul yang lebih berat,

mengembun pada pendinginan, menambah hasil cair dari pirolisis. Campuran gas yang tidak terkondensasi mengandung berat molekul yang lebih rendah gas seperti karbon dioksida, karbon monoksida, metana, etana, dan etilen

Berdasarkan laju pemanasan, pirolisis dapat secara luas diklasifikasikan sebagai pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Dianggap lambat jika waktunya, Pemanasan, diperlukan untuk memanaskan bahan bakar ke suhu pirolisis jauh lebih lama dari reaksi pirolisis karakteristik waktu dan sebaliknya. Ada beberapa varian lain tergantung pada media dan tekanan pada dimana pirolisis dilakukan. Mengingat kondisi operasi tertentu, masing-masing proses memiliki produk dan aplikasi yang khas.

Pirolisis lambat dan cepat didasarkan pada laju pemanasan sedangkan hidro pirolisis didasarkan pada lingkungan atau media di mana pirolisis dilakukan. Pirolisis lambat dan cepat umumnya dilakukan tanpa adanya sedang. Dua jenis lainnya dilakukan dalam media nanoksidasi tertentu: pirolisis hidro (dalam H₂O) dan hidropirolisis (dalam H₂). Jenis ini digunakan terutama untuk produksi bahan kimia. Dalam pirolisis lambat, waktu tinggal uap di zona pirolisis(waktu tinggal uap) adalah dalam hitungan menit atau lebih lama. Proses ini adalah tidak digunakan untuk pirolisis tradisional, di mana produksi cairan adalah yang utama sasaran. Pirolisis lambat digunakan terutama untuk produksi arang dan rusak

Tabel 2..0.2 Karakteristik Beberapa Proses Dekomposisi Termal

Pirolisis Proses	Tempat tinggal Waktu	Pemanasan Kecepatan	Terakhir Suhu (C) Produk	
Torefaksi	10 60 menit	Sangat kecil	280	torfied biomassa
Karbonisasi	hari	Sangat rendah	400	Arang
Cepat	, 2 detik	Sangat tinggi	500	Bio-minyak
Kilatan	, 1 detik	Tinggi	, 650	Bio-minyak, bahan kimia, gas
Sangat cepat	, 0,5 detik	Sangat tinggi	1000	Bahan kimia, gas
Kekosongan	2 30 detik	Sedang	400	Bio-minyak
Hidropirolisis	, 10 detik	Tinggi	, 500	Bio-minyak
Metanopirolisis	, 10 detik	Tinggi	. 700	Bahan kimia

Torefaksi terjadi dalam suhu yang sangat rendah dan sempit (200°C – 300°C), sedangkan karbonisasi berlangsung pada suhu yang jauh lebih tinggi dan luas. Dalam pirolisis cepat, waktu tinggal uap dalam orde detik atau milidetik. Jenis pirolisis ini, digunakan terutama untuk produksi bio-minyak dan gas, terdiri dari dua jenis utama: flash dan ultrarapid.

2.5.2.1. Jenis Pirolisis

Karbonisasi adalah proses pirolisis lambat, di mana produksi batubara atau arang adalah tujuan utama. Ini adalah bentuk pirolisis tertua, yang digunakan selama ribuan tahun. Biomassa dipanaskan perlahan tanpa adanya oksigen ke suhu yang relatif rendah (400°C) selama periode yang diperpanjang waktu, yang pada zaman dahulu berjalan selama beberapa hari untuk memaksimalkan pembentukan. Karbonisasi memungkinkan waktu yang cukup untuk uap terkondensasi menjadi diubah menjadi arang dan gas yang tidak dapat dikondensasikan

Tujuan utama dari pirolisis cepat adalah untuk memaksimalkan produksi cairan atau minyak nabati. Biomassa dipanaskan dengan sangat cepat hingga mencapai puncaknya (pirolisis) suhu sebelum terurai. Tingkat pemanasan bisa setinggi 1000 - 10.000°C/s, tetapi suhu puncak harus di bawah 650°C bio-oil adalah produk yang menarik. Namun, suhu puncak bisa mencapai 1000°C jika produksi gas adalah kepentingan utama. Reaktor Fluidisasi digunakan untuk pirolisis cepat. Empat fitur penting dari proses pirolisis cepat yang membantu meningkatkan hasil cairan adalah (i) laju pemanasan yang sangat tinggi, (ii) suhu reaksi dalam kisaran 425°C – 600°C, (iii) waktu tinggal yang singkat (,3 s) uap dalam reaktor, dan (iv) pendinginan cepat dari produk gas.

Dalam pirolisis kilat, biomassa dipanaskan dengan cepat tanpa adanya oksigen ke kisaran suhu yang cukup sederhana dari 450°C – 600°C. Produk, mengandung kon-gas yang dapat dipadatkan dan tidak dapat dikondensasi, meninggalkan pirolisis dalam waktu singkat waktu 301500 ms (Bridgwater, 1999). Setelah pendinginan, uap terkondensasi kemudian dikondensasi menjadi bahan bakar cair yang dikenal sebagai “bio-oil.” Operasi seperti itu meningkatkan hasil cair sekaligus mengurangi produksi arang. Hasil yang khas bio-oil pada flash pyrolysis adalah 70% - 75% dari total produk pirolisis.

Pirolisis ultra cepat melibatkan pemanasan biomassa yang sangat cepat. Jadi satu metode, padatan pembawa panas berdampak pada uap biomassa, menghasilkan laju

pemanasan. Pendinginan cepat dari produk utama mengikuti pirolisis, yang terjadi di reaktornya. Sebuah gas pemisah padat memisahkan panas padatan pembawa panas dari gas yang tidak terkondensasi dan uap produk utama dan mengembalikannya ke mixer. Mereka kemudian dipanaskan dalam ruang bakar terpisah. Kemudian gas non-pengoksidasi mengangkut padatan panas ke mixer. Waktu tinggal seragam pendek yang dikontrol dengan tepat adalah penting fitur penting dari pirolisis ultrarapid. Untuk memaksimalkan hasil produk gas, suhu pirolisis sekitar 1000°C untuk gas dan sekitar 650°C untuk cairan

Pirolisis dengan Media Pirolisis normal dilakukan tanpa adanya media seperti udara, tetapi jenis khusus dilakukan dalam media seperti air atau hidrogen. Hidropirolisis adalah salah satu jenis di mana dekomposisi termal bio-massa terjadi di atmosfer hidrogen bertekanan tinggi. Hidropirolisis dapat meningkatkan hasil yang mudah menguap dan proporsi massa molar yang lebih rendah hidrokarbon (Rocha et al., 1997). Proses ini berbeda dengan hidro-gasifikasi arang. Hasil volatilitasnya yang lebih tinggi dikaitkan dengan hidrogenasifragmen radikal bebas yang cukup untuk menstabilkannya sebelum dipolimerisasi ulang dan membentuk char (Probstein dan Hicks, 2006, p. 99). Pirolisis hidrat adalah perengkahan termal biomassa dalam air suhu. Itu bisa mengubah, misalnya, jeroan kalkun menjadi cahayahidrokarbon untuk produksi bahan bakar, pupuk, atau bahan kimia. Dalam dua tahap proses, tahap pertama berlangsung di air pada 200°C – 300°C .

Produk pirolisis tergantung pada desain pirolisis, fisik dan karakteristik kimia biomassa, dan parameter operasi penting meter seperti: Tingkat pemanasan Suhu akhir (suhu pirolisis) Waktu tinggal di zona reaksi. Selain itu, tar dan hasil produk lain bergantung pada (i) tekanan pasti, (ii) komposisi gas ambien, dan (iii) keberadaan katalis mineral (Syafizadeh, 1984). Dengan mengubah suhu akhir dan laju pemanasan, dimungkinkan untuk mengubah hasil relatif dari produk padat, cair, dan gas dari pirolisis. Pemanasan cepat menghasilkan volatil yang lebih tinggi dan arang yang lebih reaktif daripada yang dihasilkan oleh proses pemanasan yang lebih lambat; tingkat pemanasan lebih lambat dan lebih lama waktu tinggal menghasilkan arang sekunder yang dihasilkan dari reaksi antara arang primer dan volatil

Komposisi biomassa, terutama hidrogen-ke-karbonnya rasio (H/C), memiliki bantalan penting pada hasil pirolisis. Masing-masing dari ketiganya konstituen utama dari

biomassa lignoselulosa memiliki suhu yang disukai kisaran dekomposisi. Analisis data dari peralatan termogravimetri diferensial pada beberapa biomassa yang dipilih menunjukkan berikut-Kisaran suhu untuk inisiasi pirolisis

1. Hemiselulosa: 150°C – 350°C
2. Selulosa: 275°C – 350°C
3. Lignin: 250°C - 500°C.

Konstituen individu menjalani pirolisis secara berbeda, membuat kontribusi untuk hasil. Sebagai contoh, selulosa dan hemiselulosa adalah sumber utama volatil dalam biomassa lignoselulosa. Dari jumlah tersebut, selulosa adalah sumber utama uap terkondensasi. Sebaliknya, hemiselulosa menghasilkan lebih banyak gas yang tidak dapat terkondensasi dan lebih sedikit tar daripada yang dilepaskan oleh selulosa(Reed, 2002, hlm. II-109). Karena kandungan aromatiknya, lignin terdegradasi perlahan, memberikan kontribusi besar terhadap hasil arang.

Selama pirolisis, partikel bahan bakar dipanaskan pada laju tertentu dari lingkungan suhu maksimum, yang dikenal sebagai suhu pirolisis. Bahan bakarnya adalah diadakan di sana sampai proses selesai. Suhu pirolisis mempengaruhi komposisi maupun hasil produk. Selama pirolisis biomassa, pelepasan berbagai produk gas berubah dengan suhu yang berbeda. Kita dapat melihat bahwa tingkat rilis bervariasi luas untuk konstituen gas yang berbeda. Jumlah arang yang dihasilkan juga tergantung pada suhu pirolisis.

Suhu rendah menghasilkan jumlah arang yang lebih besar dan hasil suhu tinggi. jumlah arang padat yang dihasilkan dari pirolisis menurun dengan meningkatnya suhu, tetapi nilai kalor arang meningkat dengan suhu. Hal ini terjadi karena karbon tetap, yang memiliki nilai kalor lebih tinggi, dalam arang meningkat sedangkan kandungan volatil dari arang berkurang. Jumlah noncondens-gas mampu (CO_2 , CO , H_2 , CH_4) meningkat dengan suhu.

2.6.2. Studi Kinetika Pirolisis

Laju pemanasan partikel biomassa memiliki pengaruh penting pada hasil dan komposisi produk. Pemanasan cepat hingga suhu sedang(400°C – 600°C) menghasilkan volatil yang lebih tinggi dan karenanya lebih cair, sementara pemanasan lebih lambat ke suhu itu menghasilkan lebih banyak arang. Sebagai contoh, Debdoubi dkk. (2006) mengamati bahwa selama pirolisis Esparto, ketika tingkat pemanasan meningkat dari 50C

/ mnt hingga 250°C / menit, hasil cair meningkat dari 45% menjadi 68,5% pada suhu pirolisis 550°C.

Studi kinetika pirolisis memberikan informasi penting untuk desain yang lebih dekat dari pyrolyzer atau gasifier. Ini juga membantu menjelaskan betapa berbedanya proses dalam pyrolyzer mempengaruhi hasil dan komposisi produk. Tiga jurusan Proses yang mempengaruhi laju pirolisis adalah kinetika kimia, perpindahan panas dan perpindahan massa.

Dari sudut pandang termal, kita dapat membagi proses pirolisis menjadi empat: tahapan. Meskipun dibagi oleh suhu, batas-batas di antara fase dan tahapan selalu saling berikatan

1. Fase awal pemanasan biomassa pada suhu rendah suhu, kelembaban bebas dan beberapa air yang terikat longgar dilepaskan. Kelembaban bebas menguap, dan panas kemudian dialirkan ke interior biomassa (Gambar 5.4). Jika kelembabannya tinggi, air terikat membantu pencairan fraksi lignit, yang membeku pada pendinginan berikutnya. Fenomena ini digunakan dalam pembengkokan uap kayu, yang populer praktik untuk membentuknya untuk furnitur (Diebold dan Bridgwater, 1997).
2. Tahap awal Pengeringan Pada tahap ini, dehidrasi eksotermik dari biomassa terjadi dengan pelepasan air dan berat molekul rendah gas seperti CO dan CO₂. Torrefaction terjadi pada tahap ini.
3. Tahap menengah (200°C). Ini adalah pirolisis primer, dan itu terjadi dalam kisaran suhu 200°C – 600°C. Sebagian besar uap atau prekursor untuk bio-minyak diproduksi pada tahap ini. Molekul besar partikel biomassa terurai menjadi arang (primary char), gas yang dapat terkondensasi (uap dan prekursor dari hasil cair), dan gas noncondensable
4. Tahap akhir (900°C). Tahap akhir pirolisis melibatkan perengkahan volatil menjadi arang dan gas yang tidak dapat terkondensasi. Jika mereka tinggal di biomassa cukup lama, relatif besar-berat molekul terkondensasi gas dapat retak, menghasilkan arang tambahan (disebut arang sekunder) dan gas. Tahap ini biasanya terjadi di atas 300C (Reed, 2002, hlm. III-6). Gas yang dapat dipadatkan, jika dikeluarkan dengan cepat dari lokasi reaksi, mengembun di luar di reaktor hilir sebagai tar atau bio-oil. Suhu pirolisis yang lebih tinggi mendukung produksi hidrogen, yang meningkat dengan cepat di atas 600C. Kontribusi tambahan dari shift reaksi (Persamaan (7.16))

selanjutnya meningkatkan hasil hidrogen di atas 900Csifat fisik dan kimia aspek yang mengatur proses.

2.7. Proses Pirolisis Menggunakan Microwave

Microwave atau gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi yang sangat tinggi. Frekuensi yang dapat dihasilkan pada gelombang mikro di atas 3×10^9 Hz dengan panjang gelombang antara 1 Cm – 1 M. Gelombang mikro adalah sebuah bentuk energi elektromagnetik yang mana energi tersebut diubah menjadi panas oleh interaksi antar media (komponen penghasil gelombang elektrik dengan partikel bermuatan dari material yang digunakan) (Yuen dan Hameed, 2009).

Pada umumnya, radiasi gelombang mikro berhubungan dengan beberapa radiasi elektromagnetik yang mana frekuensi gelombang mikro tersebut antara 300 MHz sampai 300 GHz. Kebutuhan domestik dan industri menggunakan microwave umumnya beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz yang memiliki panjang gelombang 12,2 cm dan energinya $1,02 \cdot 10^{-5}$ eV. Gelombang mikro yang diserap oleh suatu benda akan memanaskan benda tersebut.

Gelombang mikro banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya adalah microwave oven dan radar. Jika suatu makanan dipanaskan dalam sebuah microwave oven, maka makanan tersebut akan menjadi panas dan masak dalam waktu yang singkat. Sehingga, pemanfaatan microwave oven dalam kehidupan sehari-hari sering digunakan untuk memasak makanan tertentu.

Gelombang elektromagnetik dikembangkan oleh persamaan Maxwell pada tahun 1864 yang kemudian keberadaannya diperkenalkan oleh Heinrich Hertz pada tahun 1888 (Yuen dan Hameed, 2009). Selama abad ke 20, teknologi gelombang mikro dimanfaatkan untuk kebutuhan telekomunikasi dan radar. Seiring berjalannya waktu teknologi tersebut memiliki potensi sebagai alat pemanas yang efisien dan dikembangkan untuk alat pemanas makanan dengan perangkat yang lebih fleksibel. Hingga akhirnya kecepatan pemanasan gelombang mikro digunakan pada penelitian, industri, memproses makanan, telekomunikasi, teknolog informasi, peralatan medis, sintesis organik, sintesis polimer dan lain-lain.

Secara umum, terdapat 3 katagori dalam menentukan suatu material dalam berinteraksi dengan medan listrik pada gelombang mikro diantaranya adalah :

- a. Konduktor, gelombang mikro tidak dapat menembus
- b. Isolator, gelombang mikro melewati tanpa adanya perubahan.
- c. Absorbent, bahan yang dapat menyerap radiasi gelombang mikro.

Secara umum semua jenis logam merupakan konduktor. Dalam proses pemanasan gelombang mikro, zat konduktif hanya akan memantulkan gelombang tersebut ke segala arah. Penggunaan konduktor ini dimanfaatkan sebagai material dinding perangkat microwave sehingga gelombang yang masuk akan terperangkap di antara dinding-dinding microwave. Contoh dari konduktor antara lain, besi, aluminium, emas, tembaga dan lain-lain.

Insulator adalah material yang tidak dapat menyerap dan hanya dilalui oleh radiasi gelombang mikro. Gelombang mikro tidak akan berdampak apa-apa terhadap suatu zat yang memiliki karakteristik bening dan tembus pandang. Kaca dan gelas adalah termasuk insulator.

Untuk material yang bersifat absorber adalah material yang menyerap radiasi gelombang mikro. Proses penyerapan energi gelombang mikro tersebut oleh beberapa material disebut fenomena pemanasan material dielektrik (Cherbański, 2009). Sifat dielektrik merupakan sifat yang menggambarkan tingkat kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik pada beda potensial yang tinggi. Secara praktis, sifat dielektrik sering dikaitkan dengan kelistrikan bahan isolator yang ditempatkan di antara dua keping kapasitor. Apabila bahan isolator itu dikenai medan listrik yang dipasang di antara kedua keping kapasitor, maka di dalam bahan tersebut dapat terbentuk dwikutub (dipole) listrik. Sehingga pada permukaan bahan dapat terjadi muatan listrik induksi. Bahan dengan sifat seperti ini disebut sebagai bahan dielektrik.

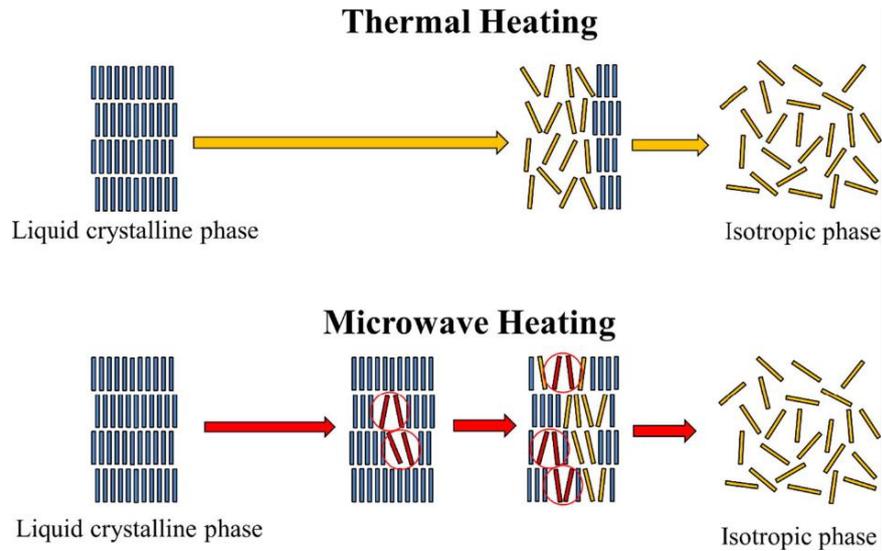
Bahan dielektrik adalah bahan yang tidak memiliki muatan bebas yang berpengaruh signifikan terhadap sifat kelistrikan bahan tersebut. Bahan dielektrik sangat penting dalam kelistrikan karena beberapa sifatnya dapat menyimpan muatan listrik, melewatkan arus bolak-balik (AC) dan menahan arus searah (DC). Bahan dielektrik ini bisa ada dalam bentuk padat, cair dan gas. Ketika bahan ini berada dalam medan listrik, muatan listrik yang dikandungnya tidak mengalami gerakan, sehingga arus tidak mengalir seperti pada bahan konduktif atau semikonduktif, tetapi hanya sedikit bergeser dari posisi setimbangnya, mengarah pada pembentukan polaritas dielektrik (Thostenson dan Chou, 1999). Polarisasi menyebabkan muatan positif bergerak menuju kutub negatif medan

listrik, sedangkan muatan negatif bergerak ke arah yang berlawanan (yaitu, menuju kutub positif medan listrik), menciptakan medan listrik internal (di dalam Bahan dielektrik) menyebabkan kekuatan keseluruhan medan listrik di sekitar dielektrik berkurang. .

Pada prinsip pemanasan dielektrik dengan gelombang mikro, pantulan radiasi gelombang mikro diantara dinding-dinding microwave secara kontinyu akan menimbulkan medan listrik di tempat tersebut. Ketika material dielektrik diletakkan pada kondisi tersebut, ion positif dan ion negatifnya akan bergerak ke arah perubahan medan listrik tersebut (Yuen dan Hameed, 2009).

Perubahan medan listrik yang ditimbulkan dari pantulan radiasi gelombang mikro terjadi sekitar 2 milyar kali setiap detiknya. Perubahan yang sangat cepat tersebut diikuti dengan pergerakan ion dari bahan dielektrik. Akibatnya, ada gesekan antara muatan yang berlawanan dan perbedaan energi kinetik diubah menjadi energi panas dan meningkatkan suhu. Ada dua mekanisme yang terlibat dalam perubahan panas, yaitu polarisasi dipol dan rugi konduksi (Yin, 2012). Mekanisme polarisasi dipol hanya mempengaruhi senyawa polar seperti air, etanol dan metanol, yang mempengaruhi residu momen dipol. Kehilangan konduksi atau rugi konduksi adalah hilangnya energi panas yang disebabkan oleh dimensi bahan yang dipanaskan.

Pada daerah spektrum elektromagnetik, microwave berada diantara radiasi infrared dengan gelombang radio. Proses pemanasan pada microwave merupakan transfer energi elektromagnetik menjadi energi panas. Salah satu keunggulan penggunaan microwave untuk proses pirolisis adalah gelombang mikro yang dihasilkan oleh microwave dapat menembus bahan dan energi yang tersimpan, sehingga panas yang dihasilkan dapat terjadi pada seluruh volume material dan bukan berasal dari sumber eksternal (pemanasan volumetrik).



Gambar 2. 0.12 Pola Pemanasan Microwave

(sumber : Yugo, 2015)

Pada microwave (Gambar 2.5), pemanasan bahan terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitar. Hal ini berguna agar tidak terjadi reaksi yang tidak diinginkan dan untuk memadatkan uap pirolisis. Pemanasan gelombang mikro lebih menyukai reaksi yang melibatkan material padat, contohnya reaksi heterogen dan pemanas konvensional yang meningkatkan reaksi homogenya pada fasa gas (Zhang et al., 2006).

Perpindahan panas yang terjadi pada gelombang mikro dalam microwave oven adalah perpindahan panas secara radiasi. Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi tanpa adanya zat perantara. Mekanisme kerja dalam pemanasan gelombang mikro disebabkan oleh adanya ion bergerak yang disebabkan oleh adanya medan magnetik atau elektrik. Adanya medan magnetik atau elektrik menyebabkan pergerakan partikel untuk berorientasi pada medan tersebut. Pergerakan partikel dibatasi oleh gaya interaksi partikel dan ketahanan dielektrik, sehingga gerakan partikel tertahan dan menyebabkan gerakan acak yang menghasilkan panas.

Radiasi yang dihasilkan pada gelombang mikro memberikan pemanasan yang seragam. Pada gelombang mikro konversi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan pemanasan konvensional di setiap temperatur. Pemanasan pada gelombang mikro menghasilkan kecepatan pemanasan yang lebih tinggi dan baik dibandingkan dengan

pemanasan secara konvensional. Hal ini dikarenakan, energi gelombang mikro yang dihantarkan dapat langsung menuju ke dalam material melalui hubungan molekul dengan daerah elektromagnetik.

Pirolisis gelombang mikro memanfaatkan bantuan radiasi gelombang mikro untuk memanaskan bahan baku pirolisis. Radiasi gelombang mikro akan memicu kenaikan temperatur pada material dielektrik sehingga terjadi proses pirolisis di dalam tabung reaktor Pirolisis dengan bantuan gelombang mikro memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan cara konvensional. Hal tersebut disebabkan karena metode gelombang mikro berupa radiasi yang menyebar ke seluruh ruang.

2.8. Baterai

Baterai adalah alat yang dapat digunakan untuk menyimpan energi dan dapat mengeluarkan energinya dalam bentuk listrik. Pada baterai tiap sel memiliki kutub, kutub pada baterai dapat berupa katoda dan anoda. Katoda merupakan kutub positif pada baterai, sedangkan anoda adalah kutub negatif pada baterai.

Energi potensial pada kutub positif (katoda) lebih tinggi dibandingkan dengan kutub negatif (anoda), dimana kutub negatif (anoda) pada baterai merupakan kutub yang menjadi sumber elektron. Ketika baterai disambungkan pada sebuah rangkaian eksternal, baterai akan mengalirkan energi dan memberikan energinya ke peralatan eksternal. Di dalam baterai, terjadi reaksi kimia yang menghasilkan elektron, dimana elektron tersebut akan mengalir dari kutub negatif (anoda) ke kutub positif (katoda). Pada baterai, kutub negatif (anoda) dan kutub positif (katoda) dapat bereaksi dengan bahan elektrolitnya.

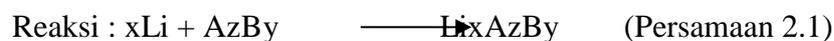
Baterai adalah salah satu alat penting untuk penyimpanan dan konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Jadi, baterai sebenarnya merupakan sebuah sel elektrokimia. Berdasarkan cara kerjanya, sel elektrokimia dapat dibagi menjadi dua, yaitu: sel galvanis dan sel elektrolisa. Sel galvanis, yang juga disebut sel volta, merubah energi kimia menjadi kerja listrik sedangkan sel elektrolisa merubah kerja listrik untuk menggerakkan reaksi kimia tak spontan. Dalam baterai biasa, komponen kimia terkandung dalam alat itu sendiri. Jika reaktan dipasok dari sumber luar ketika dikonsumsi, alat ini disebut sel bahan bakar (fuel cell).

Baterai yang saat ini umum digunakan sesungguhnya mencakup satu atau beberapa sel baterai yang digabungkan secara seri atau paralel sesuai dengan tegangan

dan kapasitas listrik yang diinginkan. Sel baterai adalah unit terkecil dari suatu sistem proses elektrokimia yang terdiri dari elektroda, elektrolit, separator, wadah terminal / current collector . Listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai muncul akibat adanya perbedaan potensial energi listrik kedua buah elektrodanya. Baterai memiliki elektroli yang berperan sebagai penghantar, terminal negative (anoda) dan terminal positif (katoda). Arus listrik yang dihasilkan baterai adalah arus searah atau direct current (DC). Secara umum, ada 2 jenis jenis baterai, yaitu baterai sekunder yang diisi ulang atau rechargeable battery dan sekali pakai atau single use battery.

Pada saat anoda bereaksi dengan bahan elektrolit, maka terbentuk satu senyawa baru yang menghasilkan satu elektron. Sedangkan, katoda membutuhkan satu elektron untuk bereaksi, sehingga satu elektron yang dihasilkan dari reaksi antara anoda dengan bahan elektrolitnya akan berpindah ke katoda dan dapat bereaksi dengan elektrolitnya. Proses perpindahan elektron ini menimbulkan aliran listrik dari sebuah baterai.

Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang. Setelah kapasitas baterai habis (fully discharged), baterai tidak dapat dipakai kembali. Beberapa contoh baterai jenis ini adalah baterai seng karbon (baterai kering), baterai alkalin dan baterai merkuri.



Discharge

Baterai primer sering disebut dengan baterai kering dan keuntungan yang diperoleh dari penggunaan baterai ini adalah bentuknya yang sederhana, mudah untuk digunakan, densitas energilistriknya besar, tidak memerlukan perawatan, dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai aplikasinya, memiliki ketahanan yang relatif baik dan memiliki harga yang terjangkau oleh konsumen. Baterai jenis ini banyak digunakan pada kalkulator, jam, remote tv, dan lainnya.

Baterai primer adalah baterai yang mudah dijumpai. Hal ini karena harga yang terjangkau dan luas penggunaannya. Tegangan baterai ini sebesar antara 1,5V dan memiliki berbagai ukuran seperti AAA (sangat kecil), AA (kecil) dan C 16 (medium) dan D (besar) dan ada juga yang bertegangan 6 Volt dan 9 Volt. baterai primer (sekali pakai/single use) memiliki berbagai jenis diantaranya:

1) Baterai Zinc-Carbon (Seng-Karbon)

Baterai Zinc-Carbon atau baterai “Heavy Duty” dapat ditemui dengan mudah. Terminal negatif dan pembungkus baterai ini ialah zinc, terminal positifnya adalah karbon batangan (rod) dan baterai ini relatif murah diantara yang lain.

2) Baterai Alkaline (Alkali)

Daya tahan dan harga baterai alkaline lebih lama dan tidak murah dibandingkan baterai Zinc-Carbon. Potassium hydroxide merupakan alkali (alkaline) yang digunakan sebagai elektrolit dan menjadi nama baterai ini. Elektrolit baterai ini sangat banyak penggunaannya namun pada elektroda ada yang memakai bahan aktif lain.

Baterai Lithium (Li) merupakan baterai yang bekerja sangat baik diantara baterai sekali pakai lainnya, yaitu bisa disimpan 10 tahun lebih dan mampu beroperasi ketika temperatur rendah. Kelebihan dari baterai lithium dipakai sebagai aplikasi memory backup mikrokomputer dan jam tangan. Bentuk baterai ini seperti uang logam dan ada juga yang menyebutnya baterai kancing.

3) Baterai Silver Oxide

Baterai Silver Oxide adalah jenis baterai termahal karena mengikuti harga perak dan menghasilkan tinggi energi dari bentuknya yang kecil dan ringan. Baterai Silver Oxide sering berbentuk baterai koin atau baterai kancing (button cell) dan dimanfaatkan aplikasi militer, kalkulator dan jam tangan

2.1.3. Baterai Sekunder

Baterai sekunder merupakan baterai berprinsip sama seperti baterai primer, namun reaksi kimia pada baterai ini bisa berbalik (reversible) dan dapat diisi kembali. Saat digunakan, elektron baterai akan mengalir dari negatif ke positif, sedangkan ketika baterai di isi ulang, elektron akan mengalir dari positif ke negatif dan terjadi pengisian muatan pada baterai.

Disini, elektroda adalah timbal dioksida positif dan timbal spons negatif dengan elektrolit asam sulfat encer. Selama pemakaian, arus listrik mengalir dan elektroda positif dan negatif berubah menjadi timbal sulfat dan menyerap ion sulfat dari elektrolit dengan mereduksinya menjadi air. Tidak seperti sel kering, sel asam timbal adalah reversibel dan bisa dikembalikan ke keadaan asalnya dengan mengalirkan listrik melalui sel dalam arah yang berlawanan dari mana dilepaskan. Ini membalik reaksi dalam sel, merubah timbal sulfat dalam pelat kembali ke bahan aktif asal dan mengembalikan ion sulfat ke elektrolit.

Sel asam timbal memiliki potensial kira-kira 2 volt, berapapun ukurannya. Sel yang lebih besar akan memiliki kapasitas yang lebih tinggi dan mengirimkan arus listrik yang sama untuk waktu yang lebih lama atau arus listrik lebih tinggi untuk periode yang sama daripada sel yang lebih kecil. Sel bisa dihubungkan seri (negatif dari salah satu sel ke positif dari sel berikutnya) agar memberikan tegangan yang lebih tinggi. Jadi tiga sel yang dihubungkan seri akan memberikan baterai sel yang memiliki tegangan nominal 6 volt. Enam sel sejenis yang dihubungkan seri akan menghasilkan baterai 12 volt.

Adapun jenis-jenis baterai sekunder ialah:

1) Baterai Ni-Cd (Nickel-Cadmium)

Baterai Ni-Cd (Nickel-Cadmium) merupakan baterai yang elektrolitnya berbahan Nickel Oxide Hydroxide dan Metallic Cadmium. Kemampuan operasi pada suhu yang luas dan daya tahan yang lama merupakan keunggulan dari baterai Ni-Cd. Selain itu, baterai Ni-Cd dapat mengisi kembali sendiri dayanya (self discharge) sekitar 30% perbulan ketika tidak digunakan. Namun baterai ini telah dilarang dijual oleh EU (European Union) atas Directive 2006/66/EC atau "Battery Directive" karena kandungan Carcinogenic Cadmium sebesar 15% berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

Baterai jenis ini merupakan generasi pertama. Berkapasitas besar, baterai ini cocok untuk ponsel lama yang bertenaga besar. Sesuai dengan ukuran dan kapasitasnya. Proses pengisian ulang pun cukup merepotkan, misalnya pengisian ulang harus dilakukan pada saat daya baterai benar-benar habis. Karena baterai NiCD memiliki memory effect, semakin lama kapasitasnya akan menurun jika pengisian belum benar-benar kosong.

Jenis baterai Nickel Cadmium (Ni-Cd) adalah teknologi standar selama bertahun-tahun, tetapi kini baterai tersebut sudah ketinggalan zaman dan perangkat elektronik (seperti laptop dan ponsel) tidak menggunakannya lagi. Model Ni-Cd berbobot cukup berat dan sangat rentan terhadap "efek memori". Saat mengisi ulang baterai Ni-Cd yang belum sepenuhnya kosong, baterai akan "mengingat" muatan listrik yang tersisa dan berlanjut di situ saat kamu menggunakannya. Efek memori disebabkan oleh kristalisasi zat baterai dan secara permanen dapat mengurangi masa pakai baterai.

2) Baterai Ni-MH (Nickel-Metal Hydride)

Baterai Ni-MH (Nickel-Metal Hydride) mempunyai kelebihan kapasitas 30% dibanding Ni-Cd dan keunggulan lain yang sama dengan Ni-Cd, namun tidak mengandung Cadmium yang merusak bagi lingkungan dan manusia. Baterai ini bisa

mengisi sendiri sebesar 40% ketika tidak digunakan dan dapat bisa ratusan kali dipakai namun ekurangnya ialah mempunyai sedikit zat berbahaya dan tidak bisa dibuang sembarangan namun dapat di daur ulang (recycle).

Baterai Nickel Metal Hydride (Ni-MH) adalah pengganti baterai jenis Ni-Cd yang bebas kadmium. Jenis baterai Ni-MH tidak terlalu berpengaruh oleh efek memori ketimbang Ni-Cd, dan karenanya membutuhkan lebih minim perawatan dan pengkondisian. Namun sayangnya Ni-MH memiliki masalah pada suhu ruangan yang sangat tinggi atau rendah.

Meskipun baterai ini menggunakan material yang kurang berbahaya lantaran tidak mengandung logam berat, ia tidak dapat sepenuhnya didaur ulang. Perbedaan utama lainnya antara Ni-Cd dan Ni-MH adalah bahwa baterai Ni-MH menawarkan kepadatan energi yang lebih tinggi ketimbang Ni-Cd. Dengan kata lain, kapasitas baterai Ni-MH kira-kira dua kali kapasitas baterai jenis Ni-Cd dengan ukuran yang sama.

3) Baterai Li-Ion (Lithium-Ion)

Baterai Lithium-ion adalah salah satu baterai dengan penggunaan perangkat elektronik dan kendaraan listrik terbanyak. Lithium metal oxide digunakan sebagai elektroda positif dan carbon sebagai electron negative dengan bahan pengikat kopolimer polivinilidena fluorida-hexafluoropropylene (PVDF-HFP) atau polivinilidena flourida (PVDF) dan oengencer konduktif.

Baterai jenis Li-Ion (Lithium-Ion) adalah baterai dengan penggunaan paling banyak untuk elektronika portable. Daya tahan siklus yang tinggi, lebih ringan 30% dan dengan kapasitas 30% lebih tinggi dibanding Ni-MH, tidak mengandung Cadmium menjadi keunggulan baterai Li-ion. Kekurangan baterai ini ialah pengisian daya sendiri sebesar 20% perbulan dan tidak dapat dibuang sembarangan serta perlu dilakukan daur ulang (recycle) agar tidak merusak lingkungan. Li-ion diinformasikan mudah terbakar, sehingga memerlukan penanganan khusus. Baterai juga rentan mengalami short circuit (korsleting) pada saat proses charging (pengisian electron). Arus listrik yang dihasilkan lebih stabil dan aman dibandingkan baterai Lithium Graphite yang umum banyak digunakan pada baterai kendaraan listrik saat ini.

Sifat rechargeable battery dari lithium ini, reaksi reduksi dan okidasi dapat berjalan ketika diisi (charge) maupun pengosongkan/pelepaskan (discharge) dari muatan listrik. Sebelum dipakai, charging baterai lithium membuat aliran elektron bergerak dari

katoda ke anoda. Keseimbangan muatan, ion lithium mengalir melalui elektrolit dan separator menuju kutub anoda hingga tercapai kondisi ekuilibrium (100% charged). Kondisi sebaliknya akan terjadi pada baterai yang digunakan, dimana muatan listrik berbentuk electron akan berpindah dari anoda melalui beban ke katoda. Dalam mengimbangi pegerakannya, ion ion yang bergerak akan menembus pori separator menuju katoda. Peristiwa ini akan berakhir ketika habisnya ion di katoda atau keseimbangan muatan terjadi. Proses charging akan dilakukan kembali setelah baterai habis.

Li-ion dapat ditemukan di hampir semua perangkat mulai dari ponsel hingga kendaraan listrik, dan dapat menyimpan energi dalam jumlah besar dari tenaga surya dan angin.

4) Baterai Lithium Polimer

Li-po atau lithium polimer merupakan baterai yang bersifat cair. Jenis ini menggunakan elektrolit padat dan bisa menghantarkan daya lebih cepat. Sebenarnya baterai Li-po merupakan pengembangan dari baterai Li-ion. Sehingga baterai Li-po jauh lebih ramah lingkungan ketimbang baterai Li-ion. Dari segi bentuk, baterai ini jauh lebih fleksibel karena memang terbentuk dari cairan atau gel. Karena itulah, baterai ini sangat cocok digunakan pada smartphone yang super tipis.

Baterai LiPo bekerja berdasarkan prinsip [interkalasi](#) dan de-interkalasi ion lithium dari bahan elektroda positif dan bahan elektroda negatif, dengan elektrolit cair menyediakan media konduktif. Untuk mencegah elektroda menyentuh satu sama lain secara langsung, pemisah mikropori berada di antaranya yang memungkinkan hanya ion dan bukan partikel elektroda yang bermigrasi dari satu sisi ke sisi lainnya.

Tegangan sel LiPo tunggal tergantung pada kimianya dan bervariasi dari sekitar 4,2 V (terisi penuh) hingga sekitar 2,7–3,0 V (kosong penuh), di mana tegangan nominalnya adalah 3,6 atau 3,7 volt (sekitar nilai tengah dari tertinggi dan terendah nilai) untuk sel berdasarkan lithium-logam-oksida (seperti LiCoO_2). Ini sebanding dengan 3,6–3,8 V (diisi) hingga 1,8–2,0 V (dihabiskan) untuk yang berbasis lithium-besi-fosfat (LiFePO_4). Peringkat tegangan yang tepat harus ditentukan dalam lembar data produk, dengan pemahaman bahwa sel-sel harus dilindungi oleh sirkuit elektronik yang tidak akan memungkinkan mereka untuk overcharge atau over-discharge saat digunakan.

Baterai LiPo disusun dengan sel yang terhubung secara seri dan paralel, memiliki pin-out terpisah untuk setiap sel. Pengisi daya khusus dapat memantau muatan pada basis per sel sehingga semua sel dibawa ke status pengisian (SOC) yang sama.

Baterai (dalam hal ini adalah aki; aki mobil/motor/mainan) terdiri dari sel-sel dimana tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ($12\text{ V} = 6 \times 2\text{ V}$) sedangkan aki yang memiliki tegangan 6 V memiliki 3 sel yang dipasang secara seri ($6\text{ V} = 3 \times 2\text{ V}$).

Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak baterai, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan karena itu cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antar sel tidak boleh ada yang bocor/merembes).

Di dalam satu sel terdapat susunan pelat pelat yaitu beberapa pelat untuk kutub positif (antar pelat dipisahkan oleh kayu, ebonit atau plastik, tergantung teknologi yang digunakan) dan beberapa pelat untuk kutub negatif. Bahan aktif dari plat positif terbuat dari oksida timah coklat (PbO_2) sedangkan bahan aktif dari plat negatif ialah timah (Pb) berpori (seperti bunga karang).

Pelat-pelat tersebut terendam oleh cairan elektrolit yaitu asam sulfat (H_2SO_4). Saat baterai mengeluarkan arus Oksigen (O) pada pelat positif terlepas karena bereaksi/bersenyawa/bergabung dengan hidrogen (H) pada cairan elektrolit yang secara perlahan-lahan keduanya bergabung/berubah menjadi air (H_2O) Sedangkan Asam (SO_4) pada cairan elektrolit bergabung dengan timah (Pb) di pelat positif maupun pelat negatif sehingga menempel di kedua pelat tersebut. Reaksi ini akan berlangsung terus sampai isi (tenaga baterai) habis alias dalam keadaan discharge.

Komponen terpenting dari sel baterai adalah Elektroda negatif/ anoda, yaitu elektroda yang melepaskan elektron ke rangkaian luar serta mengalami proses oksidasi pada proses elektrokimia. Elektroda positif/ katoda, yaitu elektroda yang menerima elektron dari rangkaian luar serta mengalami proses reduksi pada proses elektrokimia. , Penghantar ion/ elektrolit, yaitu media transfer ion yang bergerak dari anoda ke katoda dalam sel baterai saat penggunaan. Fisik elektrolit umumnya berupa cairan/ larutan dimana molekul garam larut didalamnya. (Linden, 2002)

Baterai ion lithium merupakan baterai sekunder atau baterai yang dapat diisi ulang. Banyak keunggulan baterai ini dibandingkan dengan jenis baterai sebelumnya, diantaranya memiliki lifecycle yang panjang (500-1000 siklus), memiliki memory effect yang kecil, tegangan kerja yang tinggi (3,6 V), dan memiliki kapasitas spesifik lebih tinggi daripada baterai sekunder yang lain. (Paravasthu, 2012)

Densitas energi baterai ditentukan oleh banyaknya ion litium yang terkandung di dalam material katoda. Semakin banyak ion litium yang dimiliki oleh material katoda maka densitas energinya semakin besar. Pada baterai litium ion komersial, bahan katoda yang digunakan adalah LiCoO₂. Bahan tersebut memiliki keunggulan dari segi kapasitas energinya yang cukup besar, yaitu 145 mA.h/g. Pengembangan bahan LiCoO₂ sebagai elektroda baterai terhambat oleh isu lingkungan dan mahal biaya produksi karena tersedia dalam jumlah sedikit di alam. Bahan LiCoO₂ mengandung logam berat, sehingga sangat beracun jika terkontaminasi tubuh manusia dan limbahnya dapat mencemari lingkungan. Para peneliti berusaha mencari bahan alternatif pengganti LiCoO₂ yang memiliki karakteristik lebih baik dan lebih ramah terhadap lingkungan. Bahan-bahan yang menjadi kandidat menggantikan LiCoO₂ diantaranya antara lain lithium nickel oxides (LiNiO₂), litium nikel mangan kobaltoksida (NMC), lithium vanadium oxides (LiV₃O₈), lithium iron phosphate (LiFePO₄), dan lithium manganese (LiMn₂O₄) yang memiliki kepadatan energi yang lebih rendah, tetapi hidup lebih lama dan keselamatannya lebih kuat. Bahan kimia ini banyak dipakai oleh peralatan listrik, perlengkapan medis, dan lain-lain. NMC adalah pesaing utama di industri otomotif. Lithium nikel kobalt alumunium oksida (NCA) dan lithium titanat (LTO) adalah desain khusus yang ditujukan pada kegunaan-kegunaan tertentu (Albarri, 2013).

2.8.1. Jenis – Jenis Baterai

Pada umumnya, baterai terdiri dari kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda) serta bahan elektrolit yang memiliki fungsi sebagai penghantar. Hasil dari arus listrik berupa arus searah yang disebut sebagai arus DC (Direct Current). Secara umum, baterai terdiri dari baterai primer dan baterai sekunder.

2.8.1.1. Baterai Primer

Baterai primer atau yang dikenal sebagai baterai sekali pakai merupakan baterai yang dapat dengan mudah ditemukan dipasaran. Pada umumnya, baterai jenis ini memberikan nilai tegangan sebesar 1,5 volt dengan berbagai ukuran AAA (sangat kecil), AA (kecil),

C (medium) dan D (besar). Selain itu, baterai primer juga ada yang berbentuk kotak dengan tegangan yang diberikan dapat mencapai 6 – 9 volt. Baterai primer hanya dapat dipakai sekali saja dan tidak dapat digunakan kembali karena material elektrodanya tidak dapat berbalik arah ketika dilepaskan, sehingga reaksi yang terjadi pada baterai primer adalah reaksi irreversible. Terdapat beberapa jenis baterai primer, diantaranya adalah :

- a. Baterai seng-karbon
- b. Baterai silver oxide
- c. Baterai alkali
- d. Baterai litium

2.8.1.2. Baterai Sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang (rechargeable battery). Prinsip kerja dari baterai sekunder dalam menghasilkan arus listrik sama dengan prinsip kerja dari baterai primer, akan tetapi pada baterai sekunder reaksi kimia dapat berlangsung bolak balik atau dikenal sebagai reaksi reversible. Pada saat baterai sekunder dalam kondisi digunakan (discharge), ion elektron akan mengalir dari kutub negatif (anoda) ke kutub positif (katoda).

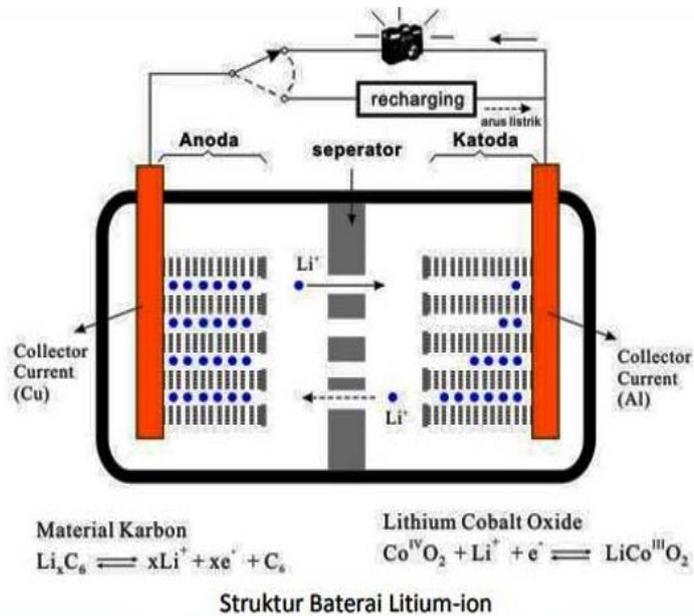
Sebaliknya, pada saat baterai sekunder dalam keadaan diisi (charge), ion elektron akan mengalir dari kutub positif (katoda) ke kutub negatif (anoda), sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai sekunder. Terdapat beberapa jenis baterai sekunder yang penggunaannya dapat diisi ulang (charge), diantaranya adalah :

- a. Baterai nickel-metal hydride
- b. Baterai nickel-cadmium
- c. Baterai lithium ion

2.8.2. Baterai Litium Ion (LIBs)

Pada umumnya baterai terbagi menjadi dua, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Pada baterai primer tidak dapat diisi ulang dan hanya dapat dipakai sekali saja. Salah satu contoh baterai primer adalah baterai seng karbon yang memiliki reaksi irreversible. Sedangkan, baterai sekunder dapat diisi ulang sehingga penggunaannya dapat dilakukan berkali-kali. Salah satu contoh baterai sekunder adalah baterai litium ion

yang memiliki reaksi reversible, dimana ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan dan akan kembali saat diisi ulang (Gambar 2.6).



Gambar 2 0.13 Skema Kerja Baterai Litium Ion

Baterai litium ion (LIBs) adalah baterai yang paling banyak digunakan saat ini karena memiliki kepadatan energi yang baik tanpa adanya efek memori dan mengalami kehilangan isi yang lambat. Pada baterai litium ion, jika anoda dan katoda dihubungkan maka akan mengalirkan ion litium dari anoda ke katoda melalui elektrolit. Pada saat ion litium mengalir maka listrik juga mengalir. Hal sebaliknya juga terjadi saat pengisian ulang (recharging), dimana ion litium

bergerak dari katoda ke anoda. Menggabungkan logam litium dalam teknologi baterai menunjukkan bahwa litium adalah yang paling elektropositif (-3,04 V Vs elektroda hidrogen standar) dan ringan (berat jenis $\rho = 0,53 \text{ g c}$), sehingga memiliki sistem kepadatan energi yang tinggi (Tarascon dan Aramad, 2001).

Baterai litium ion terbuat dari satu atau lebih komponen pembangkit tenaga yang dikenal sebagai sel. Pada setiap sel memiliki tiga komponen diantaranya adalah elektroda positif, elektroda negatif dan elektrolit yang merupakan zat kimia diantara keduanya. Baterai, sel bahan bakar dan kapasitor pada dasarnya merupakan perangkat penyimpanan energi elektrokimia, walaupun diantara ketiganya memiliki mekanisme dan konversi yang berbeda. Kesamaan antara ketiga penyimpanan energi ini adalah pada dua elektroda yang dikontakkan

dengan elektrolit. Pembangkit elektrikal energi menjadi perbedaan utama antara baterai, sel bahan bakar dan kapasitor. Energi listrik pada baterai dan sel bahan bakar dihasilkan oleh konversi energi kimia yang merupakan hasil reaksi redoks pada anoda dan katoda. Pada umumnya, anoda pada baterai litium ion merupakan grafit dan katoda yang digunakan adalah LiCo. Menurut Chen pada penelitiannya, material karbon partikel nano sangat baik digunakan dalam pembuatan elektroda pada baterai litium ion. Karbon partikel nano dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan energi pada baterai litium ion (Chen et al., 2015).

2.8.3 Bagian-Bagian Pada Baterai Litium Ion

2.8.3.1. Elektroda

Elektroda merupakan penghantar listrik yang dapat bermuatan positif dan negatif. Pada elektroda yang bermuatan positif, reaksi kimia yang terjadi adalah kehilangan elektron. Sedangkan, pada elektroda yang bermuatan negatif, reaksi kimia akan memberikan kelebihan elektron. Sehingga, jika kedua elektroda dihubungkan satu sama lain, maka aliran listrik yang terjadi adalah elektron akan mengalir dari elektroda negatif ke positif. Dalam sebuah baterai, sel elektrolit yang terhubung ke daya listrik akan menggerakkan elektroda negatif ke salah satu elektroda yang lain. Sehingga, menjadikan elektroda tersebut bermuatan negatif, sedangkan elektroda yang menerima elektron dari elektroda yang lain akan bermuatan positif.

Katoda merupakan kutub elektroda pada sel elektrokimia yang bermuatan positif, sehingga elektron akan masuk pada kutub ini. Sedangkan anoda adalah kutub elektroda pada sel elektrokimia yang bermuatan negatif, sehingga elektron akan keluar pada kutub ini. Elektroda karbon merupakan elektroda yang terbuat dari bahan karbon. Karbon mudah diperoleh dan melimpah ketersediaannya, salah satunya berasal dari material organik yang mengandung karbon seperti kulit batang kayu gelam, bayam, daun apu-apu, sekam padi, eceng gondok dan lain-lain. Karbon yang dihasilkan dapat dibuat dalam bentuk serbuk, pellet atau fiber. Karbon dapat memiliki luas permukaan hingga $\pm 1500 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$.

Elektroda adalah bahan konduktor yang memungkinkan arus listrik dapat mengalir. Elektroda biasanya terbuat dari logam seperti nikel, tembaga, seng dan lain-lain. Terdapat beberapa elektroda yang terbuat dari non logam, salah satu contohnya

adalah karbon. Elektroda dilengkapi dengan rangkaian sehingga arus akan lewat melalui itu. Elektroda dapat berupa anoda ataupun katoda. Anoda adalah elektroda dimana arus listrik meninggalkan sel dan proses yang terjadi adalah oksidasi. Sedangkan, katoda adalah elektroda dimana arus listrik memasuki sel dan proses yang terjadi adalah reduksi. Pada umumnya, anoda menjadi kutub negatif dan katoda menjadi kutub positif. Terdapat elektroda yang bersifat bipolar sehingga dapat menjadi anoda dan katoda sekaligus. Pada umumnya, baterai terdiri dari anoda, katoda dan elektrolit.

Biasanya elektroda terdapat diujung baterai, ketika alat ini terhubung dengan arus listrik maka reaksi kimia terjadi di dalam baterai dan elektron akan mengatur kembali. Elektron akan bergerak saling tolak menuju katoda yang memiliki elektron lebih sedikit.

2.8.3.2. Anoda Dan Katoda

Anoda dan katoda merupakan suatu elektroda yang digunakan untuk menghantarkan arus listrik. Terdapat beberapa perbedaan antara anoda dan katoda dalam suatu baterai, diantaranya adalah :

- a. Secara umum, Anoda merupakan kutub negatif (-), sedangkan katoda merupakan kutub positif (+).
- b. Pada reaksi redoks, oksidasi terjadi pada anoda dan reduksi terjadi pada katoda.
- c. Pada sel elektrolisis, kutub positif (+) terjadi pada anoda. Sedangkan, pada sel volta kutub negatif (-) terjadi pada katoda.
- d. Pada sel galvanik, anoda mereduksi dan menarik anion. Sedangkan, katoda mengoksidasi dan menarik kation.

2.8.3.3. Anoda

Anoda merupakan elektroda yang berkutub negatif dan dapat berupa logam ataupun penghantar listrik yang lain. Pergerakan elektron bergerak berlawanan arah dengan arus listrik. Anoda mengalami oksidasi pada proses elektrokimia (Sel galvanik ataupun sel elektrolisis). Tidak selalu anion (terminal negatif) yang bergerak menuju anoda dan tidak selalu kation (terminal positif) yang bergerak menuju anoda. Pergerakan anion ataupun kation tergantung kepada jenis sel elektrolisis yang digunakan.

Pada pembangkit listrik (baterai) atau sel galvanik, anoda adalah kutub negatif dan katoda adalah kutub positif. Elektroda akan melepaskan elektron ke sirkuit dan arus

listrik akan mengalir ke dalam elektroda, sehingga anoda akan berkutub negatif. Pada sel galvanik, reaksi oksidasi terjadi secara spontan. Anoda akan cenderung bermutan positif karena terus menerus melepaskan elektron, sehingga menarik anion dari elektrolit serta menjauhkan kation. Pada sel

elektrolisis, anoda merupakan kutub positif. Arus listrik kutub positif GGL dialirkan menuju ke elektroda, sehingga memaksa elektroda teroksidasi dan melepas elektron. Terdapat beberapa syarat yang harus dimiliki oleh anoda agar kinerja baterai dapat berjalan baik, diantaranya adalah :

- a. Kemampuan dalam penyisipan dan pelepasan ion litium harus sekecil mungkin.
- b. Material anoda mampu memuat banyaknya ion litium agar kapasitas baterai yang dihasilkan cukup besar.
- c. Host pada anoda harus dapat meminimalkan kerusakan yang dapat terjadi dalam penyisipan dan pelepasan ion litium yang berulang-ulang, agar menghasilkan siklus hidup baterai jangka panjang.

Sebuah elektroda adalah logam yang permukaannya berfungsi sebagai lokasi di mana keseimbangan oksidasi-reduksi terbentuk antara logam dan apa yang ada dalam larutan. Elektroda dapat berupa anoda atau katoda. Anoda menerima arus atau elektron dari campuran elektrolit, sehingga menjadi teroksidasi. Ketika atom atau molekul cukup dekat dengan permukaan elektroda, solusi di mana elektroda ditempatkan, mendonasikan elektron. Ini menyebabkan atom / molekul menjadi ion positif. Sebaliknya terjadi dengan katoda. Di sini elektron dilepaskan dari elektroda dan larutan di sekitarnya berkurang. Elektroda digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis.

Elektroda Negatif (Anoda) merupakan elektroda yang berfungsi sebagai pengumpul ion litium serta merupakan material aktif. Parameter pengembangan dari material untuk digunakan sebagai anoda antara lain kepadatan energi yang dihasilkan serta siklus pemakaian atau cyclability. Material yang dapat dipakai sebagai anoda harus memiliki karakteristik antara lain memiliki kapasitas energi yang besar, memiliki kemampuan menyimpan dan melepas muatan/ion yang bagus, memiliki tingkat siklus pemakaian yang lama, mudah untuk diproses/dibuat, aman dalam pemakaian (tidak beracun), dan harganya murah. Salah satu material yang dapat berperan sebagai anoda adalah material yang berbasis carbon seperti LiC_6 atau grafit.

Ada dua jenis struktur karbon elektroda yaitu: "Kristal grafit alam dan kristal karbon buatan". Anoda terbuat dari grafit yang memungkinkan ion lithium tunggal untuk diinsersi dalam struktur segi enam pada pengisian penuh komposisi LiC_6 . Bahan potensial untuk elektroda negatif harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (Philippe, 2013)

1. Dapat bereaksi reversibel dengan lithium.
2. Dapat Mengakomodasi beberapa Li-ion per atom logam untuk memberikan kapasitas tinggi.
3. Penyisipan / ekstraksi harus dioperasikan pada tegangan rendah dengan Li^+/Li (-3,04V) untuk mendapatkan tegangan yang besar.
4. Konduktivitas elektronik dan ionik yang baik.
5. Harga Murah dan ramah lingkungan

Selain grafit, material berbasis karbon yang dapat digunakan untuk anoda yaitu soft carbon, graphene dan hard carbon. Material lain yang dapat berperan sebagai anoda antara lain lithium titanium oxide (LTO). Material ini aman dipakai serta memiliki tingkat siklus pemakaian yang cukup lama. Pengembangan material pada anoda ini terus berlanjut seiring penelitian mengenai sifat-sifat suatu material (Fadli Rohman, 2012:91).

Anoda adalah suatu bagian dari baterai yang berfungsi untuk melepaskan elektron menuju katoda. Parameter yang menjadi pengembangan material ini ialah lamanya siklus pemakaian dan kepadatan energi. Karakter yang wajib dimiliki anoda ialah siklus pemakaian yang panjang, mudah dalam proses pembuatan, aman dan tidak beracun, murah, penyimpanan dan pelepasan ion yang baik dan kapasitas energi yang besar.

Selain bahan tersebut soft carbon, graphene dan hard carbon yang merupakan salah satu material grafit berbasis karbon dapat digunakan sebagai anoda. Ada juga material yang mempunyai siklus pemakaian yang lama seperti lithiumtitanium oxide (LTO).pada anoda,

Salah satu komponen dalam sistem sel baterai lithium adalah anoda. Anoda yang dipakai yaitu Natural Graphite. Sekarang, grafit alam menjadi salah satu kandidat yang paling menjanjikan sebagai bahan anoda baterai lithium terutama karena biaya yang murah, dan kapasitas reversible relatif tinggi (330 – 350 mAh/g).

Grafit Alam merupakan bahan galian jenis ketiga menurut undang-undang adalah golongan bukan strategis dan bukan vital atau golongan C. Bahan galian golongan ini memiliki sifat tidak langsung memerlukan pasaran yang bersifat internasional, maka dari itulah masuk ke dalam golongan C ini. Beberapa contoh dari bahan tambang golongan ini antara lain nitrat, pospat, asbes, talk, mika, grafit, magnesit, kaolin, batu apung, marmer, batu tulis dan lain sebagainya

Karbon aktif adalah bahan elektroda yang disukai dalam ultrakapasitor, baterai asimetris, dan berbagai baterai canggih karena luas permukaannya yang sangat tinggi dan kemurniannya yang tinggi,

2.8.3.4. Katoda

Pada sel elektrokimia, katoda merupakan kutub elektroda yang terpolarisasi dan bermuatan positif. Sehingga, arus listrik akan keluar dan elektron akan bergerak masuk. Pada baterai biasa, seperti baterai karbon-seng. Biasanya yang menjadi katoda adalah logam seng dan logam seng tersebut dijadikan sebagai pembungkus baterai. Sedangkan, pada baterai alkalin biasanya yang menjadi katoda merupakan logam mangan dioksida. Katoda sebagai material yang menyediakan sumber ion litium untuk melakukan reaksi interkalasi. Terdapat beberapa syarat yang harus dimiliki oleh katoda agar kinerja baterai dapat bekerja dengan baik, diantaranya adalah :

- a. Host pada katoda harus memiliki kemampuan interkalasi yang cukup besar dalam menampung ion litium agar kapasitas baterai yang dihasilkan cukup besar.
- b. Perubahan dalam struktur host harus terjadi sekecil mungkin agar baterai memiliki siklus hidup yang panjang.
- c. Material yang digunakan sebagai katoda harus memiliki sifat tidak beracun, murah dan stabil.

Pada umumnya, material katoda berfungsi sebagai sumber ion litium yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada saat proses pengisian dan pemakaian baterai, ion litium yang dilepaskan dan ditangkap menghasilkan densitas energi dan densitas power baterai. Densitas energi suatu baterai akan semakin besar jika semakin banyak ion litium yang berpindah dari katoda menuju anoda. Sedangkan, densitas power-nya akan semakin besar jika banyaknya ion litium yang kembali ke katoda. Sehingga, kinerja baterai bergantung pada kondisi perpindahan ion litium.

Katoda merupakan elektroda yang fungsinya sama seperti anoda yaitu pengumpul ion serta material aktif. Namun perbedaannya adalah katoda merupakan elektroda positif. Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi suatu material yang digunakan sebagai katoda antara lain material tersebut terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian).

Material katoda menjadi acuan dalam menghitung kapasitas sel baterai secara teoritik. Untuk setiap berat material katoda, jumlah ion lithium yang dilepaskan material katoda saat charging dan jumlah ion lithium yang kembali dalam waktu tertentu ke material katoda saat discharging menggambarkan densitas energi dan densitas power sel baterai. Semakin banyak ion lithium dipindahkan dari katoda ke anoda maka semakin besar pula densitas energi sel baterai. Semakin banyak ion lithium yang kembali ke katoda dari anoda setiap detiknya, maka semakin besar densitas powernya. Kapasitas sel baterai sangat bergantung pada kondisi transfer muatan/ charge transfer.

Mekanisme ini berkaitan erat dengan proses difusi dan konduktivitas elektronik dan ionik dari komponen pembentuk sel baterai. Material katoda tidak saja harus bersifat konduktif ionik, namun juga harus bersifat konduktif elektronik. Saat proses charging ion lithium akan dilepaskan dari katoda ke anoda melalui elektrolit, dengan begitu katoda harus bersifat konduktif ionik. Bersamaan dengan itu elektron akan dilepaskan melewati rangkaian luar menuju anoda, ini berarti katoda juga harus bersifat konduktif elektronik (Guan wang, 2006).

Elektroda positif dalam baterai lithium-ion didasarkan pada tiga jenis kimia dasar: oksida berlapis (seperti lithium cobalt oksida), spinel (seperti lithium mangan oksida), atau polyanion (seperti lithium iron phosphate). Bahan katoda yang paling umum digunakan dalam sel lithium-ion adalah lithium cobalt oksida. Namun, berbagai bahan lain yang digunakan seperti lithium feroposfat (LiFePO_4), spinel seperti lithium mangan oksida (LiMn_2O_4), atau oksida logam campuran yang mencakup cobalt (Co), nikel (Ni), aluminium (Al), dan oksida mangan seperti kobalt nikel aluminat (NCA). Bahan yang umum digunakan sebagai katoda pada baterai lithium adalah LiCoO_2 . LiCoO_2 merupakan bahan katoda yang memiliki kapasitas spesifik yang paling tinggi.

Untuk dapat digunakan sebagai elektroda positif dalam baterai Li-ion, bahan harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. Bahan harus mudah direduksi / ion teroksidasi, misalnya logam transisi.
 2. Bahan harus bereaksi reversibel dengan lithium yaitu tidak ada perubahan struktur pada saat insersi/ ekstraksi lithium.
 3. Bahan harus mampu beroperasi pada tegangan tinggi (sekitar 4 V) untuk memberikan kapasitas penyimpanan energi yang tinggi.
 4. Proses insersi / ekstraksi harus cepat untuk mencapai densitas daya (power density) yang tinggi.
 5. Bahan harus memiliki konduktivitas elektronik dan konduktivitas Li-ion yang baik.
 6. Bahan harus stabil secara termal dan kimia, murah dan ramah lingkungan.
- (Julien, 2014)

Sebagian besar baterai ion lithium untuk aplikasi portabel menggunakan katoda berbasis kobalt. Baterai ion lithium kobalt juga dikenal sebagai baterai ion lithium berkekuatan tinggi karena kepadatan energi yang tinggi. Lithium ion kobalt bila di pasang dengan anoda grafit karbon maka akan memiliki beda potensial sebesar 3,6 V dan beda potensial ini tiga kali lipat bila dibandingkan dengan NICKEL atau NiMH yang hanya mempunyai beda potensial 1,2 V (Mehul,2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Vega Ingried (2020) meneliti Titanium sebagai campuran Lithium pada Katoda. Preparasi yang dilakukan pada penelitian sebelumnya dilakukan dengan cara melarutkan 8,4 gram litium klorida (LiCl) ke dalam air terdeionisasi sebanyak 40 ml. Larutan tersebut kemudian dicampurkan dengan 0,4 TiO₂ dan 0,1 gram NaOH. Setelah itu, campuran yang dihasilkan ditempatkan ke dalam sebuah reaktor dan dipanaskan dengan suhu 180°C dalam tungku selama 24 jam (Ingried, 2020). LiCoO₂ di tahun 1980 menjadi material katoda pertama pada baterai lithium ion dan memiliki kerapatan sebesar 140A.h/kg. namun kekurangan dari material ini adalah rendahnya kestabilan dan harga yang mahal.

Penelitian Arini (2022) menggunakan campuran Vanadium dengan Lithium sebagai Katoda pada Baterainya. LiVO₃ yang dihasilkan dari proses hidrotermal antara LiCl, V₂O₅, dan NaOH yang direaksikan secara stoikiometri. Pada hasil analisa siklus

voltametri nilai arus yang tertinggi terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder PU yaitu sebesar 0,22A, sedangkan nilai daya, energi, dan kapasitas terbesar juga terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder PU yaitu nilai daya sebesar $5,36 \times 10^{-1}$ W, nilai energi sebesar $1,80 \times 10^{-2}$ Wh, dan nilai kapasitas sebesar $8,94 \times 10^{-1}$ F. Pada pengukuran galvanostatic charging-discharging, dihasilkan kurva pengisian dan pengosongan baterai litium ion. Dimana baterai yang memiliki nilai slope pengosongan paling rendah adalah yang diinginkan karena artinya baterai tersebut dapat digunakan lebih lama. Slope pengosongan baterai terendah terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder PU yaitu sebesar -0,0039.

2.8.3.4. Binder

Binder atau perekat adalah material yang digunakan untuk mengikat atau menyatukan material aktif penyusun elektroda. Binder berperan dalam menjaga kualitas fisik dari elektroda sehingga dapat meningkatkan masa hidup baterai.

Binder digunakan untuk mengikat bahan aktif ke bahan aktif, agen pembantu konduktif atau kolektor. Binder biasanya berjenis polimer seperti pengikat asam poliakrila, poliuretane, melamine, dan lain lain

Bahan pengikat harus fleksibel, tidak larut dalam elektrolit, stabil secara kimia dan elektrokimia dan mudah diaplikasikan pada elektroda. Pengikat untuk katoda positif juga harus tahan terhadap oksidasi. Bahan pengikat yang umum untuk katoda adalah polivinilidena fluorida, sedangkan bahan pengikat anodik yang umum adalah kopolimer stirena-butadiena. Seiring kemajuan bahan elektroda, bahan pengikat yang meningkatkan kinerja bahan elektroda baru juga diperlukan.

2.8.3.5 Separator

Separator adalah kelas membran yang memungkinkan pemisahan fisik anoda dan katoda, memungkinkan ion di dalam elektrolit mengalir di antara dua elektroda sambil memblokir elektron untuk mencegah hubungan arus pendek.

Secara alami, separator harus sangat berpori, isolator elektronik yang baik dan konduktor ionik yang baik. Mereka juga biasanya dibuat dari polimer seperti poliolefin, keramik atau campuran polimer/keramik. Pemisah juga bertindak sebagai alat pengamanan dalam LIB dengan menghentikan aliran ion saat baterai terlalu panas.

Pengembangan dan kemajuan separator dan pengikat kurang mendapat perhatian daripada pengembangan bahan elektroda di LIB, meskipun sifatnya menjadi faktor penting dalam kinerja dan keamanan baterai secara keseluruhan. Separator tidak hanya dijadikan pembatas, namun separator harus bisa dilewati ion lithium dengan baik agar dapat berperan dalam menghasilkan listrik, pengisian ulang dan keamanan pada baterai lithium.

Hal yang penting dalam memilih material separator adalah sifat material yang insulator, kecilnya hambatan listrik, tidak mudah rusak (Kestabilan mekanik), tidak terdegradasi dengan mudah oleh elektrolit dan seragamnya ketebalan lapisan disemua permukaan. polyolefins (PE dan PP), Polyvinylidene fluodire (PVdF), PTFE (teflon), PVC, dan polyethylene oxide merupakan material yang biasa digunakan sebagai separator.

Separator digunakan untuk mencegah terjadinya kontak langsung antara elektroda positif dan elektroda negatif. Separator adalah membran berpori. Ion-ion litium dapat bergerak secara bebas dari anoda ke katoda dan melewati separator. Separator yang berguna untuk memisahkan elektroda positif dan elektroda negatif, harus dibuat setipis mungkin dan harus dibuat cukup kuat untuk mempertahankan bentuknya selama terjadi pergerakan ion.

Pori-pori pada separator harus tersebar secara merata untuk memaksimalkan kerja dari distribusi arus yang seragam pada permukaan separator. Elektrolit juga harus membasahi seluruh bagian separator, agar tidak terjadi hot spot. Hot spot yang terjadi pada separator disebabkan karena bagian separator yang kering (tidak terbasahi oleh elektrolit), hal ini dapat menyebabkan terjadinya kenaikan resistansi yang berakibat pada kegagalan sel baterai.

Terdapat beberapa fungsi pada separator baterai diantaranya adalah mencegah terjadinya arus pendek yang dapat timbul antara elektroda positif dan elektroda negatif ketika terjadi transport ion yang tinggi, menjaga kestabilan elektrolit, mencegah

ketidakreaktifan pada sel kelebihan muatan, pemanasan berlebihan atau kondisi mekanik rusak (Dong Fu, 2011).

2.8.3.5. Elektrolit

Larutan elektrolit merupakan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Sedangkan, larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Larutan elektrolit dapat menghantarkan arus listrik karena dapat menghasilkan ion-ion, sehingga timbul gelembung gas di dalam larutan. Sedangkan, larutan non elektrolit tidak dapat menghantarkan arus listrik karena larutan tersebut tidak dapat menghasilkan ion. Ion dalam larutan elektrolit dapat menghantarkan arus listrik karena merupakan atom-atom yang bermuatan elektrik.

Elektrolit dapat berupa asam, basa, air ataupun berupa senyawa kimia lainnya. Pada umumnya larutan elektrolit berupa asam, basa ataupun garam. Oleh karena itu, larutan elektrolit kuat identik dengan asam, basa ataupun garam kuat karena larutan elektrolit kuat menghasilkan ion-ion yang lebih banyak dibandingkan dengan larutan elektrolit lemah.

Elektrolit adalah senyawa yang berikatan kovalen polar dan ion. Senyawa yang berikatan ion sebagian besar merupakan elektrolit, salah satu contoh ikatan ion NaCl yang berupa garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit, jika berbentuk larutan, lelehan ataupun liquid. Sedangkan, pada bentuk padatan, ion-ion pada senyawa NaCl tidak dapat bergerak, sehingga elektrolit tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik.

Larutan elektrolit yang kuat terbentuk dari terlarutnya suatu senyawa kuat di dalam pelarut air. Senyawa pada larutan elektrolit kuat dapat terurai sepenuhnya menjadi ion positif (kation) dan ion negatif (anion). Pada saat dilewatkan ke dalam larutan elektrolit, elektron dapat dihantarkan arus listrik melalui ion-ion di dalam larutan. Ciri-ciri larutan elektrolit kuat adalah terionisasi dengan sempurna, memiliki derajat ionisasi = 1, jika dilakukan uji coba larutan elektrolit kuat akan memiliki nyala lampu yang terang dan timbulnya gas yang banyak di dalam larutan. Salah satu contoh senyawa yang dapat membentuk larutan elektrolit kuat adalah NaCl, H₂SO₄ dan NaOH. Sedangkan, ciri-ciri larutan elektrolit lemah adalah terionisasi sebagian, memiliki derajat ionisasi $0 < a < 1$, jika dilakukan uji coba larutan elektrolit lemah akan memiliki nyala lampu yang lemah

dan timbul gelembung gas yang sedikit pada larutan. Salah satu contoh senyawa yang dapat membentuk larutan elektrolit lemah adalah H_3PO_4 , NH_4OH dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Pada larutan non elektrolit, tidak dapat terionisasi sehingga tidak dapat menghantarkan arus listrik dan memiliki derajat ionisasi = 0. Jika dilakukan uji coba pada larutan non elektrolit, maka tidak timbul gelembung gas sehingga lampu tidak menyala. Salah satu contoh senyawa pada larutan elektrolit lemah adalah $\text{C}_2\text{H}_2\text{OH}$.

Elektrolit adalah bagian penting ketiga dari baterai Li-ion. Ini memastikan konduksi dari lithium-ion antara elektroda negatif dan elektroda positif dan bertindak sebagai penghalang fisik antara dua elektroda (ketika digabungkan dengan separator untuk elektrolit cair). Sifat kimia dari elektrolit memiliki dampak yang kuat pada kinerja baterai dan terutama pada antarmuka elektroda / elektrolit (Philippe, 2015). Fungsi utama dari elektrolit adalah untuk mencegah pertukaran elektron langsung antara elektroda dan memfasilitasi aliran elektron agar teratur dan stabil melalui sirkuit eksternal. Secara bersamaan, elektrolit harus menjadi konduktor ionik (konduktif yang sangat ideal) untuk menjaga transfer internal. Selain itu, elektrolit juga harus memenuhi beberapa syarat lagi untuk memastikan bahwa fungsi baterai yang dihasilkan seperti yang diinginkan. Mungkin yang paling penting, elektrolit harus menunjukkan stabilitas elektrokimia yang tinggi, di seluruh rentang tegangan baterai. Ini berarti bahwa elektrolit harus tetap lembam selama operasi. (Oystein, 2012).

Elektrolit yang ideal memiliki beberapa persyaratan umum untuk memenuhi:

- .Konduktivitas ionik tinggi ($\sigma_{\text{Li}} > 10^{-4} \text{ S/cm}$) dan konduktivitas elektronik rendah ($\sigma_{\text{e}} < 10^{-10} \text{ S/cm}$) dengan jarak berbagai suhu (-40°C sampai $+60^\circ\text{C}$).
- Stabil secara kimiawi terhadap semua komponen sel (separator, kolektor, bahan kemasan sel).
- Harus membentuk lapisan pasif yang stabil pada permukaan Elektroda.
- Dapat mentolerir kondisi ekstrim (listrik, mekanik dan penyalahgunaan termal).
- Toksisitas rendah dan harga murah.
- Elektrokimia stabil di kisaran tegangan operasi baterai.
- Viskositas rendah (terkait dengan konduktivitas ionik tinggi).
- Kemampuan untuk melarutkan garam bahkan pada konsentrasi tinggi (konstanta dielektrik tinggi).
- Stabil pada rentang temperatur yang tinggi (Gulbrekken, 2012).

Ada dua jenis elektrolit utama yang digunakan dalam baterai Li-ion, yakni: cair dan gel. Elektrolit cair adalah garam litium dalam satu atau lebih pelarut organik, umumnya karbonat. Elektrolit gel adalah bahan penghantar ion dimana garam dan pelarut dilarutkan atau dicampur dengan polimer berat molekul tinggi. Elektrolit gel yang dikembangkan untuk baterai Li-ion umumnya selaput PVDF-HFP, LiFP6, dan pelarut karbonat. Silika kabut bisa ditambahkan untuk meningkatkan integritas struktur. Sebagian besar elektrolit Li-ion yang dipakai saat ini menggunakan LiFP6 sebagai garam karena konduktivitas ionnya tinggi, 10^{-2} S/cm, bilangan perpindahan Li-ion tinggi ($\sim 0,35$) dan aman. Akan tetapi garam ini relatif mahal, higroskopis dan menghasilkan asam fluorida (HF) ketika bereaksi dengan air.

Ada dua jenis elektrolit utama yang digunakan dalam baterai Li-ion, yakni: cair dan gel. Elektrolit cair adalah garam litium dalam satu atau lebih pelarut organik, umumnya karbonat. Elektrolit gel adalah bahan penghantar ion dimana garam dan pelarut dilarutkan atau dicampur dengan polimer berat molekul tinggi. Elektrolit gel yang dikembangkan untuk baterai Li-ion umumnya selaput PVDF-HFP, LiFP6, dan pelarut karbonat. Silika kabut bisa ditambahkan untuk meningkatkan integritas struktur. Garam organik juga dikembangkan, yang lebih stabil dengan air sehingga mudah ditangani. Yang paling banyak menarik perhatian adalah lithium bistrifluoromethane sulfonimide ($\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$).

2.9. Metode Analisa dan Uji Kinerja Baterai

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam mengukur kinerja baterai, diantaranya adalah metode cyclic voltammetry (CV) dan metode galvanostatic charge discharge (GCD).

2.9.1. Cyclic Voltammetry (CV)

Salah satu metode dalam menganalisis elektrokimia adalah metode voltametri siklik (Cyclic Voltammetry). Kelebihan dari metode voltametri ini dibandingkan dengan metode lain adalah kesederhanaan, kemudahan dalam penganalisaan, selektifitas dan sensitifitas. Potensial dari mikro elektroda kerja divariasikan dan arus yang dihasilkan dicetak sebagai fungsi dari potensial, hasil cetakan ini disebut voltamografi (Karin Pihel, 1994).

Voltametri merupakan metode dimana arus direkam sebagai suatu fungsi potensial elektroda kerja. Kinerja pada voltametri ini dilakukan dengan cara mempolarisasikan elektroda kerja. Pengukuran ini dilakukan dengan cara menerapkan suatu potensial ke dalam sel elektrokimia dan proses reaksi redoks yang menghasilkan respon arus diukur. Respon arus diukur pada daerah potensial yang telah ditentukan dan dibuat plot arus fungsi potensial yang disebut voltamogram siklik. Respon arus yang spesifik dihasilkan dari scan tegangan dengan metode cyclic voltammetry.

Sel voltametri terdiri dari 3 elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektroda pembantu. Pada elektroda kerja tidak bereaksi tetapi merespon elektroda aktif yang terdapat didalam sampel. Pemilihan elektroda bergantung pada besarnya range potensial yang diinginkan untuk menguji sampel (Ewing, 1975). Divariasikan potensial secara sistematis, mengakibatkan zat kimia mengalami oksidasi dan reduksi dipermukaan elektroda. Pada voltametri, salah satu elektroda pada sel elektrolitnya terpolarisasi sehingga proses ini diikuti dengan kurva arus tegangan. Pada reaksi reversible, kurva voltamogram (Gambar 2.10) akan menghasilkan puncak arus anodik dan puncak arus katodik. Pada senyawa yang mengalami oksidasi akan menghasilkan puncak anoda dan senyawa yang mengalami reduksi akan menghasilkan puncak katoda. Karakteristik puncak pada voltamogram diakibatkan oleh pembentukan lapisan difusi dekat dengan permukaan elektroda (Keeley, 2009).

2.9.2. Galvanostatic Charge Discharge (GCD)

Galvanostatic charge discharge (GCD) atau pengisian dan pengosongan galvanostatis merupakan metode karakterisasi elektrokimia yang digunakan untuk mengukur respon potensial listrik. Perbedaan pada potensial listrik menunjukkan terjadinya perbedaan kondisi perpindahan massa. Faktor penting dalam pengisian dan pengosongan pada baterai dipengaruhi oleh faktor waktu. Waktu yang dibutuhkan dalam mengisi dan mengosongkan muatan pada baterai tergantung pada nilai kapasitansi dan resistansi.

Kestabilan siklus dalam pengisian dan pengosongan dapat dengan mudah diekstrak dari galvanogram. Pada sirkuit seri RC (Resistor dan Kapasitor) dapat mewakili kontribusi kapasitor dan resistor pada sistem elektrokimia. Rangkaian RC (Gambar 2.11)

merupakan rangkaian listrik yang memiliki kombinasi antara komponen kapasitor dan resistor. Pada umumnya komponen tersebut disusun secara seri, walaupun disusun secara paralel rangkaian tersebut dapat dilakukan. Dalam satu rangkaian komponen resistor dan kapasitor juga dapat memiliki rangkaian lebih dari satu, rangkaian tersebut dikenal dengan R-C Filter atau R-C Network. Pada rangkaian, resistor menghasilkan resistansi dan kapasitor menghasilkan kapasitansi.

Siklus dalam rangkaian RC (Resistor dan Kapasitor) digunakan untuk menyaring sinyal dengan memberikan tahanan. Resistor dalam rangkaian memberikan tahanan melalui resistansi. Sinyal juga dapat disimpan dalam kapasitor melalui kapasitansi. Fungsi dari resistor adalah menghambat adanya aliran arus listrik dan fungsi dari kapasitor adalah untuk menyimpan arus listrik sementara yang lewat. Pada rangkaian RC (Resistor dan Kapasitor), besarnya nilai arus yang mengalir pada rangkaian sama dengan nilai Q atau nilai muatan yang ada pada kapasitor. Perubahan yang terjadi pada nilai besaran arus dan muatan kapasitor dapat ditentukan melalui metode grafik. Selain itu, gaya gerak listrik (GGL) akan memiliki nilai yang sama antara hambatan dan tahanan. Selang waktu dapat dicari dengan memperhatikan banyaknya muatan dan tahanan pada rangkaian.

2.9.3 Penentuan Karakteristik Struktur Karbon

Ada beberapa metode dalam menentukan karakteristik struktur karbon, diantaranya adalah Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transfer Infra-Red (FT-IR). Berikut penjelasan tentang metode dalam menentukan karakteristik struktur karbon :

2.9.3.1. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah metode yang dilakukan untuk membentuk bayangan daerah mikroskopis permukaan sampel (Callister, 2003). Terdapat beberapa bagian pada alat Scanning Electron Microscope (SEM), diantaranya adalah sumber elektron yang berupa filamen kawat wolfram, alat untuk mencacah (Scanner) dan foil pencacah elektromagnetik, seperangkat lensa elektromagnetik yang berfungsi untuk memfokuskan elektron, sistem layar dan sistem detektor.

Jika ditembakkan seberkas elektron pada suatu permukaan spesimen, maka sebagian dari elektron tersebut dipantulkan kembali dan sebagian yang lain akan diteruskan. Jika ditembakkan elektron pada permukaan spesimen yang tidak rata seperti terdapat lekukan, lubang, retakan dan lipatan, maka elektron tersebut akan dipantulkan kembali dengan jumlah dan arah yang berbeda. Pantulan elektron tersebut akan ditangkap oleh detektor dan akan diteruskan ke sistem layar, sehingga akan menghasilkan gambaran yang sesuai dengan keadaan permukaan spesimen.

Gambar yang ditampilkan pada sistem layar adalah bayangan dari pantulan elektron. Bahan yang akan diuji dengan alat Scanning Electron Microscope (SEM) harus bersifat konduktor karena bahan yang bersifat konduktor tersebut dapat berinteraksi dengan elektron, sehingga dapat dibaca hasilnya. Untuk bahan yang tidak bersifat konduktor, karakterisasi dapat

dilakukan dengan terlebih dahulu melapisi bahan dengan bahan konduktor (Goldstein, 2003). Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sejenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Manfaat dalam menganalisa dengan menggunakan alat Scanning Electron Microscope (SEM) adalah untuk mengetahui mikrostruktur pada benda padat. Kenerja pada alat Scanning Electron Microscope (SEM) ini memanfaatkan gelombang elektron yang dipancarkan. Gelombang elektron yang dipancarkan ini, terkondensasi pada lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Adapun beberapa tujuan utama alat Scanning Electron Microscope (SEM) adalah untuk mengetahui mengenai topografi (permukaan sampel), morfologi (bentuk dan ukuran sampel), komposisi dan informasi mengenai kristalografi. Scanning Electron Microscope (SEM) dapat memproduksi berkas elektron pada tegangan sebesar 2 – 30 kV dari sebuah senapan elektron. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar yang berukuran ≤ 10 nm pada sebuah sampel yang dihasilkan dalam bentuk film fotografi.

Scanning Electron Microscope (SEM) sangat baik digunakan untuk mengamati permukaan kasar dengan perbesaran sekitar 20 – 500.000 kali. Sebelum melalui lensa elektromagnetik, scanning raster mendefleksikan berkas elektron untuk meng-scan permukaan sampel. Hasil scan yang didapatkan akan tersinkronasikan pada tabung sinar katoda dan gambar sampel akan terlihat pada area yang di-scan. Timbulnya hasil refleksi

yang berbeda-beda pada sampel dikarenakan tingkat kontras yang dihasilkan pada tabung sinar katoda.

Pada saat elektron menabrak permukaan sampel, beberapa elektron direfleksikan dalam bentuk backscattered electron (BSE) dan elektron yang lain membebaskan energi rendah secondary electron (SE). Emisi radiasi elektromagnetik dari sampel timbul pada panjang gelombang yang bervariasi. backscattered electron (BSE) dan secondary electron (SE) yang dipancarkan oleh sebuah sampel akan dikumpulkan oleh sebuah scintillator yang memancarkan

sebuah cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian berubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh photomultiplier. Setelah diperbesar, sinyal tersebut dikirim ke grid tabung sinar katoda.

Pada umumnya, potensial positif yang dimiliki scintillator sebesar 5 – 10 kV yang berguna untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan oleh elektron untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menabrak scintillator. Scintillator dilindungi agar tidak terkena defleksi berkas elektron utama yang memiliki potensial tinggi. Pelindung metal yang mengandung metal gauze terbuka yang menghadap sampel memungkinkan hampir seluruh elektron melalui permukaan scintillator (Anggreani, 2008).

Terdapat beberapa peralatan utama pada Scanning Electron Microscope (SEM), diantaranya adalah :

- a. Piston, terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron.
- b. Lensa, berupa lensa magnetis
- c. Sistem vakum

Cara kerja pada alat Scanning Electron Microscope (Gambar 2.12) adalah sebagai berikut, pada sebuah piston elektron menghasilkan sinar elektron yang dipercepat dengan anoda dan lensa magnetik memfokuskan elektron menuju sampel, sinar elektron men-scan ke seluruh sampel yang diarahkan oleh koil pemindai. Jika elektron mengenai sampel, maka elektron tersebut akan diterima oleh detektor yang ditampilkan pada monitor.

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan dengan tujuan menganalisa morfologi dan topografi (Gambar 2.13). Analisa morfologi adalah untuk menganalisa bentuk dan ukuran dari suatu sampel yang di uji coba. Sedangkan, analisa topografi adalah untuk menganalisa permukaan dan tekstur sampel.

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Resolusi elektron dapat mencapai resolusi hingga 0,1 – 0,2 nm. Sedangkan, cahaya hanya mampu memiliki resolusi mencapai 200 nm. Selain itu, elektron dapat digunakan untuk mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk karakteristik. Jika sebuah elektron mengenai suatu benda, maka akan menghasilkan 2 jenis pantulan. Pantulan yang dihasilkan oleh elektron tersebut berupa pantulan elastis dan non elastis.

2.9.3.2. X-Ray Diffraction Method (XRD)

Proses menganalisis menggunakan X-Ray Diffraction Method (XRD) merupakan proses analisis karakterisasi material yang paling sering digunakan. XRay Diffraction Method (XRD) berfungsi untuk mengidentifikasi fase kristalin suatu material dan untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar X adalah radiasi elektromagnetik yang memiliki energi yang tinggi, energi yang dimiliki sinar X dapat mencapai 200 eV – 1 MeV.

Hasil dari interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom adalah sinar X. Nilai panjang gelombang pada spektrum sinar X adalah 10⁻¹⁰ – 5-10 nm, berfrekuensi 10¹⁷ – 10²⁰ Hz dan memiliki energi 10³ – 10⁶ eV. Panjang gelombang sinar X dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal karena memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom. Tumbukan elektron yang berkecepatan tinggi dengan suatu logam sasaran menghasilkan sinar X. Oleh karena itu, tabung sinar X harus memiliki sumber elektron, logam sasaran dan voltase tinggi. Elektron yang bertubrukan akan mengalami pengurangan kecepatan dengan cepat dan energinya berubah menjadi foton. X-Ray Diffraction Method (XRD) digunakan untuk menganalisis komposisi suatu fasa ataupun senyawa pada suatu material dan karakterisasi kristal. Prinsip kerja X-Ray Diffraction Method (XRD) adalah mendifraksikan cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi atau kristal dapat terjadi jika difraksi tersebut berasal dari radius yang mempunyai panjang gelombang yang sama dengan jarak antar atom. Radiasi yang digunakan adalah radiasi sinar X, elektron dan neutron.

Metoda X-Ray Diffraction Method (XRD) berdasarkan sifat difraksi sinar-X (Gambar 2.14), yakni hamburan cahaya dengan panjang gelombang λ saat melewati kisi kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar bidang kristal sebesar d . data yang diperoleh dari metode karakterisasi X-Ray Diffraction Method (XRD) adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Berdasarkan teori difraksi, sudut difraksi bergantung pada lebar celah kisi sehingga mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya

difraksi bergantung dari berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama (Agarwal et al., 2005).

Sinar X adalah foton yang memiliki energi tinggi (panjang gelombang 0,5 – 2,5 Angstrom). Jika suatu berkas sinar X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan yang terdifraksi ini dapat terdeteksi oleh XRay Diffraction Method (XRD). Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasa yang berbeda dan ada yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas difraksi adalah berkas sinar X yang saling menguatkan.

Metode ini dapat digunakan untuk menentukan sistem kristal, parameter kisi, derajat kristalinitas dan fase yang terdapat dalam suatu sampel. Hal yang perlu diperhatikan pada metode ini adalah posisi difraksi maksimum, intensitas puncak dan distribusi intensitas sebagai fungsi dari sudut difraksi. Tiga informasi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terdapat dalam suatu bahan. Pola-pola difraksi sinar-X dikumpulkan dalam data JCPDS (Joint Committee of Powder Diffraction Standard). Salah satu analisis komposisi fasa dalam suatu bahan adalah dengan membandingkan pola XRD terukur dengan data tersebut (Cullity and Stock. 2001).

2.9.3.3. Fourier Transfer Infra-Red Method (FT-IR)

Fungsi dari Fourier Transform Infra Red (FT-IR) adalah untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisa campuran. Pada setiap spektrum dari suatu senyawa akan menghasilkan spektrum yang berbeda-beda pula, hal ini dikarenakan setiap spektrum dari suatu senyawa memiliki sifat yang khas.

Fourier Transform Infra Red (FT-IR) merupakan metode yang digunakan untuk mengamati hubungan antara molekul dengan radiasi elektromagnetik, sehingga untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk dalam suatu sampel akan dibaca daerah frekuensinya yang memiliki puncak-puncak.. Puncak-puncak ini akan menunjukkan adanya gugus fungsi yang terbentuk dalam suatu sampel dengan melihat tabel spektrofotometer infra merah

1. Sumber sinar, yang terbuat dari filament Nerst atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik hingga temperature 1000 – 1800°C.

2. Beam splitter, berupa material transparan dengan indeks relatif, sehingga menghasilkan 50% radiasi yang akan direfleksikan dan 50% radiasi akan diteruskan.
3. Interferometer merupakan bagian utama dari Fourier Transform Infra Red (FT-IR) yang berfungsi untuk membentuk interferogram yang akan diteruskan menuju detektor.
4. Daerah cuplikan, dimana berkas acuan dan cuplikan masuk ke dalam daerah cuplikan dan masing-masing menembus sel acuan dan cuplikan secara bersesuaian.
5. Detektor, merupakan alat yang digunakan untuk mengukur energi pancaran yang lewat akibat panas yang dihasilkan. Detektor yang sering digunakan adalah termokopel dan balometer.

Cara kerja dari alat Fourier Transform Infra Red (dimana sumber sinar akan memancarkan sinar yang akan diteruskan, kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak.

Sinar hasil pantulan dari dua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan menuju sampel dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan mengakibatkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor dan akan saling melemah jika dua cermin memiliki jarak yang berbeda.

Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor akan menghasilkan sinyal yang disebut interferogram, kemudian akan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid, 1994). Vibrasi pada ikatan kimia dari suatu molekul menyebabkan pita serapan hampir seluruhnya di daerah spektrum IR. Analisa Infrared memberikan hasil kandungan aditif, panjang rantai dan struktur polimer. Analisa infrared dapat memberikan hasil karakterisasi suatu bahan yang terdegradasi oksidatif dengan memunculnya suatu senyawa gugus karbonil dan pembentukan ikatan rangkap pada rantai polimer. Gugus hidroksil dan karboksilat menunjukkan terjadinya degradasi oksidatif. Prinsip kerja dari Fourier Transform Infra Red (FT-IR) adalah

serapan dari suatu senyawa dengan tingkat energi vibrasi dan rotasi pada ikatan kovalen yang mengalami perubahan momen dipol dalam suatu molekul.

2.10. Fenomena Perpindahan Elektron Menjadi Arus Listrik

Baterai adalah perangkat yang menyimpan energi kimia, dan mengubahnya menjadi listrik. Ini dikenal sebagai elektrokimia dan sistem yang menopang baterai disebut sel elektrokimia. Baterai dapat terdiri dari satu atau beberapa (seperti di tumpukan asli Volta) sel elektrokimia. Setiap sel elektrokimia terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh elektrolit

Jadi dari mana sel elektrokimia mendapatkan listriknya? Untuk menjawab pertanyaan ini, kita perlu mengetahui apa itu listrik. Paling sederhana, listrik adalah jenis energi yang dihasilkan oleh aliran elektron. Dalam sel elektrokimia, elektron dihasilkan oleh reaksi kimia yang terjadi pada satu elektroda (lebih lanjut tentang elektroda di bawah!) dan kemudian mereka mengalir ke elektroda lain di mana mereka digunakan. Untuk memahami ini dengan benar, kita perlu melihat lebih dekat pada komponen sel, dan bagaimana mereka disatukan.

Untuk menghasilkan aliran elektron, Anda perlu memiliki tempat untuk elektron mengalir, dan tempat untuk elektron mengalir. Ini adalah elektroda sel. Elektron mengalir dari satu elektroda yang disebut anoda (atau elektroda negatif) ke elektroda lain yang disebut katoda (elektroda positif). Ini umumnya berbagai jenis logam atau senyawa kimia lainnya.

Di tumpukan Volta, anodanya adalah seng, dari mana elektron mengalir melalui kawat (ketika terhubung) ke perak, yang merupakan katoda baterai. Dia menumpuk banyak sel ini bersama-sama untuk membuat tumpukan total dan menaikkan tegangan. Tapi dari mana anoda mendapatkan semua elektron ini? Dan mengapa mereka begitu senang dikirim ke katoda dengan gembira? Semuanya bermuara pada kimia yang terjadi di dalam sel.

Ada beberapa reaksi kimia yang terjadi yang perlu dipahami. Pada anoda, elektroda bereaksi dengan elektrolit dalam reaksi yang menghasilkan elektron. Elektron ini terakumulasi di anoda. Sementara itu, di katoda, terjadi reaksi kimia lain secara bersamaan yang memungkinkan elektroda tersebut menerima elektron.

Istilah kimia teknis untuk reaksi yang melibatkan pertukaran elektron adalah reaksi reduksi-oksidasi, lebih sering disebut reaksi redoks. Seluruh reaksi dapat dibagi menjadi

dua setengah reaksi, dan dalam kasus sel elektrokimia, satu setengah reaksi terjadi di anoda, yang lain di katoda. Reduksi adalah perolehan elektron, dan itulah yang terjadi di katoda; kita katakan bahwa katoda tereduksi selama reaksi. Oksidasi adalah hilangnya elektron, jadi kita katakan bahwa anoda teroksidasi.

Masing-masing reaksi ini memiliki potensial standar tertentu. Pikirkan karakteristik ini sebagai kemampuan/efisiensi reaksi untuk menghasilkan atau menyedot elektron—kekuatannya dalam tarik-menarik elektron.

Di bawah ini adalah daftar setengah reaksi yang melibatkan pelepasan elektron baik dari unsur murni atau senyawa kimia. Tercantum di sebelah reaksi adalah angka (E^0) yang membandingkan kekuatan potensial elektrokimia reaksi dengan kesediaan hidrogen untuk berpisah dengan elektronnya (jika Anda melihat ke bawah daftar, Anda akan melihat bahwa setengah reaksi hidrogen memiliki E^0 dari nol). E^0 diukur dalam volt.

Alasan daftar ini sangat menarik adalah karena jika Anda memilih dua reaksi dari daftar, dan menggabungkannya untuk membuat sel elektrokimia, nilai E^0 memberi tahu Anda ke arah mana reaksi keseluruhan akan berlangsung: reaksi dengan nilai E^0 yang lebih negatif akan menyumbangkan elektronnya ke reaksi lain dan ini menentukan anoda dan katoda sel Anda. Perbedaan antara dua nilai E^0 memberitahu Anda potensi elektrokimia sel Anda, yang pada dasarnya adalah tegangan sel.

Jadi, jika Anda mengambil lithium dan fluoride, dan berhasil menggabungkannya untuk membuat sel baterai, Anda akan memiliki tegangan tertinggi yang secara teoritis dapat dicapai untuk sel elektrokimia. Daftar ini juga menjelaskan mengapa dalam tumpukan Volta, seng adalah anoda, dan perak sebagai katoda: setengah-reaksi seng memiliki nilai E^0 yang lebih rendah (-0,7618) daripada setengah-reaksi perak (0,7996).

Setiap dua bahan penghantar yang bereaksi dengan potensial standar yang berbeda dapat membentuk sel elektrokimia, karena yang lebih kuat akan dapat mengambil elektron dari yang lebih lemah. Tetapi pilihan ideal untuk anoda adalah bahan yang menghasilkan reaksi dengan potensial standar yang jauh lebih rendah (lebih negatif) daripada bahan yang Anda pilih untuk katoda Anda. Apa yang akhirnya kita dapatkan adalah elektron tertarik ke katoda dari anoda

Perbedaan potensial standar antara jenis elektroda sama dengan gaya yang elektron akan melakukan perjalanan antara dua elektroda. Ini dikenal sebagai potensi elektrokimia sel

secara keseluruhan, dan ini menentukan tegangan sel. Semakin besar perbedaan, semakin besar potensial elektrokimia, dan semakin tinggi tegangan.

Untuk meningkatkan voltase baterai, Ada dua opsi yang dipilih, yang pertama dengan menggunakan bahan yang berbeda untuk elektroda kita, yang akan memberikan sel potensi elektrokimia yang lebih besar. Atau, kita dapat menumpuk beberapa sel bersama-sama. Ketika sel-sel digabungkan dengan cara tertentu (secara seri), ia memiliki efek aditif pada tegangan baterai. Pada dasarnya, gaya di mana elektron bergerak melalui baterai dapat dilihat sebagai gaya total saat elektron bergerak dari anoda sel pertama hingga ke katoda sel terakhir.

Ketika sel digabungkan dengan cara lain (secara paralel) itu meningkatkan kemungkinan arus baterai, yang dapat dianggap sebagai jumlah total elektron yang mengalir melalui sel, tetapi bukan tegangannya.

Pada saat yang sama, katoda juga harus menyeimbangkan muatan negatif dari elektron yang diterimanya, sehingga reaksi yang terjadi di sini harus menarik ion bermuatan positif dari elektrolit (sebagai alternatif, juga dapat melepaskan ion bermuatan negatif dari elektroda ke dalam elektrolit.).

Jadi, sementara kabel eksternal menyediakan jalur untuk aliran elektron bermuatan negatif, elektrolit menyediakan jalur untuk transfer ion bermuatan positif untuk menyeimbangkan aliran negatif. Aliran ion bermuatan positif ini sama pentingnya dengan elektron yang menyediakan arus listrik di sirkuit eksternal yang kita gunakan untuk memberi daya pada perangkat kita. Peran penyeimbang muatan yang mereka lakukan diperlukan untuk menjaga agar seluruh reaksi tetap berjalan.

Ketika baterai sedang digunakan, kita memiliki situasi di mana ada aliran elektron yang terus menerus (melalui sirkuit eksternal) dan ion bermuatan positif (melalui elektrolit). Perjalanan elektron dari anoda ke katoda adalah satu arah. Entah elektroda mereka menjadi habis saat mereka melepaskan ion positif atau negatifnya ke dalam elektrolit, atau penumpukan produk reaksi

Ketika kita menghubungkan baterai yang hampir habis ke sumber listrik eksternal, dan mengirim energi kembali ke baterai, itu membalikkan reaksi kimia yang terjadi selama pengosongan. Ini mengirimkan ion positif yang dilepaskan dari anoda ke dalam elektrolit kembali ke anoda, dan elektron yang diambil katoda juga kembali ke anoda. Kembalinya

ion positif dan elektron kembali ke anoda membuat sistem siap untuk bekerja kembali elektroda mencegah reaksi berlanjut, dan itu selesai dan dibersihkan.

Namun, prosesnya tidak sempurna. Penggantian ion negatif dan positif dari elektrolit kembali ke elektroda yang relevan saat baterai diisi ulang tidak rapi atau terstruktur dengan baik seperti elektroda di tempat pertama. Setiap siklus pengisian menurunkan elektroda hanya sedikit lebih, yang berarti baterai kehilangan kinerja dari waktu ke waktu, itulah sebabnya bahkan baterai isi ulang tidak terus bekerja selamanya.

Selama beberapa siklus pengisian dan pengosongan, bentuk kristal baterai menjadi kurang teratur. Ini diperparah ketika baterai habis/diisi ulang dengan kecepatan tinggi—misalnya, jika Anda mengendarai mobil listrik dengan kecepatan tinggi dan bukannya mantap. Siklus kecepatan tinggi menyebabkan struktur kristal menjadi lebih tidak teratur, dengan baterai yang kurang efisien.

Reaksi pelepasan dan pengisian ulang yang hampir tetapi tidak sepenuhnya dapat dibalikkan juga berkontribusi pada sesuatu yang disebut 'efek memori'. Ketika Anda mengisi ulang beberapa jenis baterai yang dapat diisi ulang tanpa cukup menghabiskannya terlebih dahulu, mereka 'mengingat' di mana mereka berada pada siklus pengosongan sebelumnya dan tidak mengisi ulang dengan benar.

Di beberapa sel, ini disebabkan oleh cara logam dan elektrolit bereaksi membentuk garam (dan cara garam kemudian larut lagi dan logam diganti pada elektroda saat Anda mengisi ulang). Kami ingin sel kami memiliki kristal garam kecil yang bagus, seragam, melapisi permukaan logam yang sempurna, tetapi bukan itu yang kami dapatkan di dunia nyata! Cara beberapa kristal terbentuk sangat kompleks, dan cara beberapa logam mengendap selama pengisian ulang juga sangat kompleks, itulah sebabnya beberapa jenis baterai memiliki efek memori yang lebih besar daripada yang lain. Ketidaksempurnaan terutama tergantung pada status pengisian baterai untuk memulai, suhu, tegangan pengisian dan arus pengisian. Seiring waktu, ketidaksempurnaan dalam satu siklus pengisian daya dapat menyebabkan hal yang sama pada siklus pengisian berikutnya, dan seterusnya, dan baterai kami mengambil beberapa kenangan buruk. Efek memori kuat untuk beberapa jenis sel, seperti baterai berbasis nikel. Jenis lain, seperti lithium-ion, tidak mengalami masalah ini.

Aspek lain dari baterai isi ulang adalah bahwa bahan kimia yang membuatnya dapat diisi ulang juga berarti mereka memiliki kecenderungan yang lebih tinggi terhadap

pengosongan sendiri. Ini terjadi ketika reaksi internal terjadi di dalam sel baterai bahkan ketika elektroda tidak terhubung melalui sirkuit eksternal. Hal ini menyebabkan sel kehilangan sebagian energi kimianya dari waktu ke waktu. Tingkat self-discharge yang tinggi sangat membatasi masa pakai baterai—dan membuatnya mati selama penyimpanan.

Baterai lithium-ion di ponsel kami memiliki tingkat self-discharge yang cukup baik sekitar 2–3 persen per bulan, dan baterai mobil timbal-asam kami juga cukup masuk akal—mereka cenderung kehilangan 4–6 persen per bulan. Baterai berbasis nikel kehilangan sekitar 10-15 persen dari biaya mereka per bulan, yang sangat tidak baik jika Anda berencana untuk menyimpan obor untuk seluruh musim ketika Anda tidak membutuhkannya! Baterai alkaline yang tidak dapat diisi ulang hanya kehilangan

2.11. Metode untuk Pembuatan Nano Karbon

2.11.1. Metode Top Down

Metode Top Down merupakan proses sintesis nanopartikel secara fisika, dimana terjadi pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer. Metode ini dapat juga diartikan penggabungan material berukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan.

2.11.1.1. Pengurangan Ukuran (Size Reduction)

Pengecilan ukuran (size reduction) artinya membagi bagi suatu bahan padat menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan menggunakan gaya mekanis atau menekan.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan alat size reduction, antara lain; Ukuran umpan, Size reduction ratio Distribusi ukuran partikel dii arus produk, Kapasitas, Sifat bahan : seperti hardness, abrasiveness, stickiness, densitas, flammability. Kondisi basah atau kering.

Berdasarkan cara kerja dan ukuran produk yang diperoleh, maka peralatan size reduction dapat dibedakan menjadi empat kelompok yaitu :

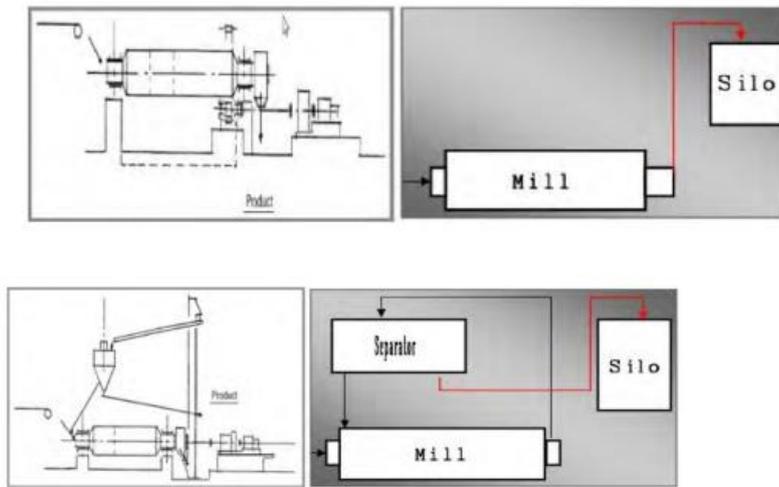
- Crusher (mesin pemecah)
- Grinder (mesin giling)
- Ultrafine Grinder (mesin giling ultra halus)

- Cutting Machine (Mesin Pemotong)

Pembuatan material berukuran kecil atau berbentuk serbuk menggunakan beberapa metode. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode impact (pukulan) dengan mesin ball mill yang menghasilkan material berbentuk serbuk dengan hasil yang berukuran 1-2000 μm [R. Patel, A. Baria, and N. Patel (2008)]. Cara kerja mesin ball mill adalah menghancurkan bahan dengan cara menggilingnya bersama grinding media (bola-bola penghancur), material yang masih berukuran besar dimasukkan ke dalam vial (tabung) yang telah diisi bola-bola penghancur, dan bolabola tersebut bertumbukan dengan material yang ingin dihaluskan [G. Mussardo(2019)]. Keuntungan dari mesin ball mill dapat digunakan dalam penggilingan bahan yang halus dan untuk pengoperasiannya dapat dilakukan secara terus menerus. Pada pembuatan mesin ball mill menggunakan gerak reciprocating

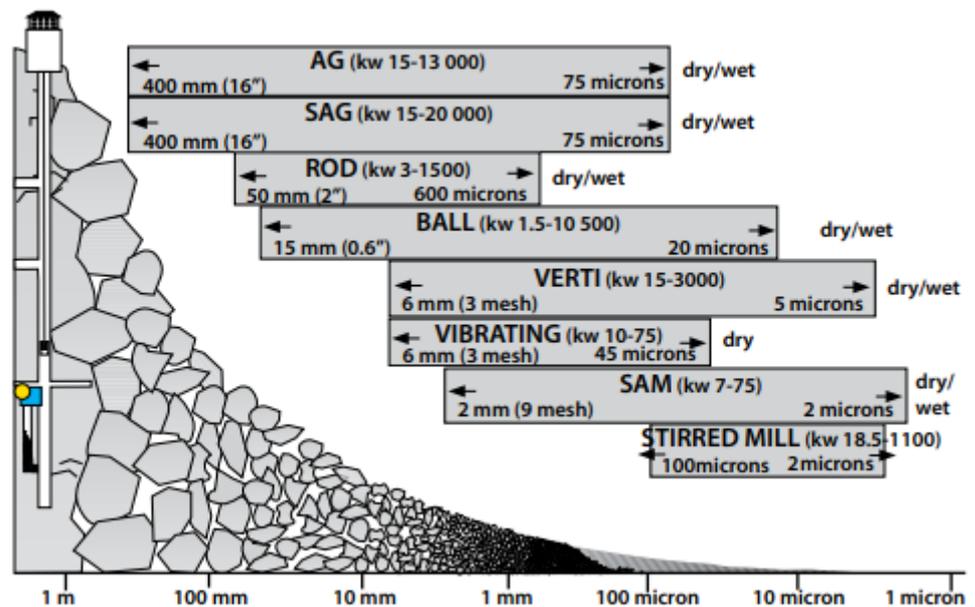
Ball mill merupakan salah satu jenis mesin penggiling yang berbentuk silinder yang berfungsi dan digunakan untuk menggiling material keras menjadi material yang sangat halus. Mesin ini biasanya digunakan dalam proses pembuatan cat, keramik, semen, kembang api, batu bara , pigmen feldspar dan serbuk material 3d printing. secara umum prinsip kerjanya adalah mengurangi ukuran material dengan memanfaatkan gerakan bola yang jatuh kebawah pada saat bola terangkat ketika silinder berputar. Perbedaan antara ballmill dan tube mill adalah rasio panjang tabung dengan diameter tabung. Untuk tube mill memiliki perbandingan panjang dengan diameter (3 – 6 : 1), untuk ball mill relasi ini adalah ($<2 : 1$). (Shabana : 2010)

Sistem penggilingan dapat dilakukan dengan dua jenis sirkuit yaitu, Sirkuit Terbuka dimana komponen di mana material di outlet mill memiliki ukuran yang dibutuhkan dan langsung menuju ke Silo penyimpanan. Lalu yang berikutnya adalah Sirkuit tertutup sistem dimana material di outlet mill melewati pemisah, partikel dengan kehalusan yang dibutuhkan masuk ke silo penyimpanan dan partikel kasar kembali masuk penggilingan.



Gambar 2. 0.14 a.b. Sirkuit Terbuka dan Sirkuit Tertutup Milling

Rasio Pengurangan Material Semua penghancur termasuk impactors memiliki rasio reduksi yang terbatas. Dibawah ini pengurangan ukuran secara teoritis dan rentang daya untuk penggilingan dari tipe penggiling yang berbeda pada tahap yang optimal.



Gambar 2. 0.15 Rasio Pengurangan Ukuran Material
(Sumber : Basic in mineral processing chapter 3 Hal 25)

Untuk Metode Ball Mill dapat mengurangi ukuran partikel sampai 20 micron, itu artinya setara dengan ukuran lebih kecil dari 400 mesh . Pengecilan Ukuran material bertujuan untuk membentuk material dengan ukuran yang lebih kecil bahkan sampai skala nanometer.

Nanometer adalah suatu satuan dalam sistem internasional yang menggambarkan ukuran sebesar 10^{-9} meter. Nanomaterial digambarkan sebagai bahan dengan panjang 1 - 1000 nm dalam setidaknya-tidaknya satu dimensinya; Namun, umumnya nanomaterial didefinisikan sebagai material yang berdiameter dalam kisaran 1 hingga 100 nm. Definisi lain tentang nanomaterial menurut organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) adalah material dengan dimensi eksternal dalam skala nano atau material dengan struktur internal atau struktur permukaan dalam skala nano. Definisi dari Komisi Eropa menyebutkan bahwa nanomaterial dapat berupa material alamiah, insidental, atau sintetis yang mengandung komponen yang tersusun atas partikel bebas atau sebagai agregat atau aglomerat, di mana 50% atau lebih dari komponennya merupakan partikel yang memiliki minimal satu dimensi eksternalnya berada dalam kisaran ukuran 1–100 nm (Sudha et al., 2018)

2.11. Penelitian Terkait

Penelitian penelitian tentang pembuatan baterai ini telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan berbagai tema penelitian terkait. Untuk penelitian ini , dibatasi untuk meninjau pembuatan anoda dari sumber biomassa khususnya kangkung air dengan metode hidrotermal dan pirolisis dan dilanjutkan dengan pembuatan baterai dengan katoda berbasis Lithium Ion (Li – ion) .

Penelitian Hu (2010) melaporkan Bahan anoda konvensional yaitu grafit memiliki efisiensi coulombic yang tinggi (bagian yang dapat dipulihkan dari energi) tetapi hanya berkapasitas sedang (372mA h g⁻¹). Sebagai hasilnya, bahan dengan kapasitas teoretis yang lebih tinggi seperti: sebagai silikon (Li_{4.4}Si^{1/4}4200mA h g⁻¹), bahan kimia berbasis dasar timah (790mA hg⁻¹ untuk SnO₂, dan 990mA hg⁻¹ untuk Sn) dan oksida logam transisi (500–1000mA h g⁻¹) dieksplorasi sebagai struktur nano. Namun, kandidat yang menjanjikan ini memiliki dua kesamaan kekurangannya yaitu konduktivitasnya rendah dan besar perubahan volume selama siklus penyisipan/ekstraksi Li. Itu masalah kedua menyebabkan disintegrasi material dan hilangnya struktur nano yang mulai dioptimalkan, oleh karena itu menyebabkan kinerja bersepeda yang sangat

buruk. Untuk mengatasi ini masalah, para ilmuwan telah mengembangkan beberapa strategi, yang, menariknya, sangat mirip satu sama lain. Pendekatan pertama adalah menerapkan struktur nano berongga atau mesopori sebagai elektroda, untuk ruang kosong berfungsi sebagai bantalan yang baik untuk perubahan volume. Pendekatan kedua adalah melapisi lapisan karbon fleksibel ke permukaan partikel untuk meningkatkan konduktivitas dan menyerap stres dengan perubahan volume. Pendekatan ketiga biasanya dilengkapi (atau bahkan diganti) dengan lapisan penutup kandang tetapi antarmuka padat-elektrolit (SEI) yang dapat dideformasi pada karbon / komposit partikel untuk menahan deformasi yang keras (meskipun ini dapat menyebabkan kapasitas ireversibel besar dalam beberapa siklus pertama).

Dibandingkan dengan metode pelapisan karbon rumit lainnya seperti Chemical Vapor Deposition atau deposisi uap fisik (PVD), Hidrotermal Conversion (HTC) adalah proses jauh lebih mudah, selain itu, adalah berbasis cairan dan karena itu murah dan terukur. A Si@SiO_x-C nanokomposit telah disintesis melalui proses HTC (diikuti dengan langkah karbonisasi suhu rendah) dan memang menunjukkan kapasitas penyimpanan lithium yang superior yang disintesis nanokomposit memiliki struktur inti-kulit (berukuran sekitar 50nm) dengan inti silika yang dibungkus oleh lapisan pelapis SiO_x dan C. Struktur komposit, diuji secara elektrokimia dengan adanya vinylene elektrolit yang mengandung karbonat, menunjukkan kapasitas elektronik yang tinggi serta performa siklus yang baik (1100mA h g 1 bahkan setelahnya 60 siklus pada kerapatan arus 150mA h g 1 dalam rentang tegangan 0,05-1V). Bahkan pada rapat arus tinggi (1000mA g 1), kapasitas reversibel dapat dipertahankan pada 600mA h g 1. Lain kandidat penting untuk bahan Li-anoda adalah Sn atau SnO₂.

Penelitian Jihye Ryu (2010) melaporkan Sintesa Karbon Mikrospere dari Monosakarida dan Senyawa Fenol Dalam semua kasus, bola karbon diperoleh dari hidrotermal sintesis larutan berair 0,5 M yang mengandung gula dan/atau senyawa fenolik yang diperoleh dari reaksi hidrotermal selama 12 jam dan temperaturnya 170°C. Karbon diproduksi oleh xilosa menunjukkan bola terisolasi dengan distribusi ukuran dalam kisaran 100-200 nm, sedangkan fruktosa menghasilkan bola karbon yang saling berhubungan (ukuran rata-rata 290 nm) dengan beberapa partikel besar.

Penelitian Anna (2014) melaporkan penelitian tentang biomassa hayati / tumbuhan air yaitu Alga Merah yang dapat dimanfaatkan menjadi anoda dengan disintesa menjadi komposit dengan Silika. Komposisi kimia komposit ditentukan dengan Analisis Energi Dispersive X-ray (EDX). Komposit terdiri karbon (38 at.%), Si (12 at.%), oksigen (43 at.%) dan lainnya unsur : Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Fe dalam jumlah kecil yaitu 1,30, 0,11, 0,62, 0,04, 0,005, 0,006 0,1% [norma pada.%], hasil analisa XRD Bahan elektroda yang diperoleh dari bahan pirolisis memiliki telah ditandai dengan SEM, spektroskopi Raman dan elektrokimia teknik. Bahannya terutama terdiri dari silika dan bagian yang mengandung karbon. Pengukuran XPS mengkonfirmasi pembentukan Li_xSiO_y dan Li_xSi selama elektoreduksi silika kontak dengan LiPF_6 dalam elektrolit EC/DMC. Uji pengisian/pengosongan galvanostatik memberikan kapasitas dari 419 mA h g⁻¹ untuk laju C/5. Bersepeda lambat (tingkat C/20) memungkinkan kapasitas lebih tinggi di atas 500 mA h g⁻¹ lebih dari 80 pengisian/pengosongan siklus yang ingin dicapai.

Penelitian oleh Syarif N (2014) melakukan Pirolisis enceng gondok dengan bantuan gelombang mikro hidrotermal menghasilkan material kristalit tinggi yang mengandung karbon grafit (47%) dan KCl (20%) seperti yang diungkapkan oleh pengukuran EDX gambar mikrografik dari karbon dengan perbesaran 300, dan 2000 kali. Terlihat jelas bahwa karbon terdiri dari dua ciri pembeda, yaitu struktur wafel dengan banyak rongga atau pori-pori dan rantai manik-manik yang bersinar. Struktur dengan rongga dikenal sebagai karbon dengan pori-pori dan rantai manik adalah KCl (silvit). Pori-pori karbon memiliki diameter dalam kisaran 10-50 nm. Kristal KCl membangun beberapa cluster (partikel) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1B. Ukuran partikel KCl bervariasi pada kisaran 10-17 nm.

Penelitian Vega (2020) menggunakan karbon berbasis batang kangkung air sebagai anoda dan LiTiO_2 sebagai katoda. Pada batang kangkung air, karbon dihasilkan dari proses hidrotermal dan pirolisis sehingga menghasilkan karbon yang memiliki pori-pori yang berfungsi untuk menangkap dan melepas ion Li^+ . Katoda yang digunakan adalah LiTiO_2 yang dihasilkan dari proses hidrotermal dengan menggunakan suhu 180°C selama 24 jam. Karbon dan LiTiO_2 dimanfaatkan menjadi elektroda untuk menghasilkan baterai litium ion dengan skala laboratorium. Elektrolit yang digunakan adalah senyawa LiCl berbasis cair dan gel dengan masing-masing konsentrasi 10%, 20% dan 40%. Nilai energi dan daya tertinggi terdapat pada baterai dengan binder PU media elektrolit cair

20% dengan nilai energi sebesar $4,83 \times 10^{-3}$ W.h dan nilai daya sebesar $1,43 \times 10^{-1}$ W, sedangkan nilai energi dan daya terendah terdapat pada baterai dengan binder PU media elektrolit gel 10% dengan nilai energi sebesar $4,67 \times 10^{-7}$ W.h dan nilai daya sebesar $1,38 \times 10^{-5}$ W.

Penelitian yang dilakukan Felicia (2021) Memanfaatkan kangkung air (*Ipomoea aquatica*) sebagai elektroda menghasilkan daya tertinggi sebesar 0,143 W dengan menggunakan media elektrolit cair 40% dan binder Polyurethane (PU). Pada penelitian ini digunakan variasi jenis elektrolit LiCl dan Li₂SO₄, jenis binder PU dan refill tinta dan penambahan emulsi TEA untuk meningkatkan kinerja baterai. Baterai dengan elektrolit Li₂SO₄ 40% dan menggunakan binder tinta serta penambahan emulsi memiliki nilai daya dan energi tertinggi yaitu sebesar 2,89 W dan 0,002 W.h.

Penelitian yang dilakukan oleh Endah (2021), melaporkan bahwa penggunaan karbon batang kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) sebagai elektroda pada baterai, variasi jenis binder yaitu binder Poliretane dan Politetrafluoroetilena (Teflon), variasi jenis elektrolit LiCl dan Li₂SO₄ serta pengaruh pemakaian emulsi Polietilen Glikol untuk melihat kinerja baterai yang dihasilkan. Nilai Energi dan daya tertinggi dimiliki oleh baterai binder Politetrafluoroetilena dengan elektrolit Li₂SO₄ tanpa pemakaian emulsi PEG yaitu sebesar $7,41993 \times 10^{-3}$ W dan $1,65 \times 10^{-3}$ W.h. Pada penelitian ini digunakan variasi jenis binder yaitu binder Polyurethane dan PTFE, variasi jenis elektrolit LiCl dan Li₂SO₄ serta pengaruh pemakaian emulsi PEG untuk melihat kinerja baterai yang dihasilkan.

Penelitian oleh Arini (2022) menggunakan kangkung air sebagai bahan baku anoda. yang berasal dari kangkung air mempunyai pori-pori yang dapat digunakan pada anoda baterai litium ion. Sedangkan katoda yang digunakan adalah LiVO₃ yang dihasilkan dari proses hidrotermal antara LiCl, V₂O₅, dan NaOH. Proses hidrotermal dilakukan dengan menggunakan suhu 200°C selama 16 jam. Karbon kangkung air dan LiVO₃ dimanfaatkan menjadi anoda dan katoda pada baterai litium ion. Elektrolit yang digunakan adalah senyawa LiCl dengan media cair dan gel dengan masing-masing konsentrasi 10%, 20% dan 40%. Binder yang digunakan antara lain Polyurethane dan melamin. Baterai yang telah disusun lengkap diuji dengan analisa siklik voltametri dan galvanostatic charging-discharging. Pada hasil analisa siklik voltametri nilai arus yang

tertinggi terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder Polyurethane yaitu sebesar 0,22A, sedangkan nilai daya, energi, dan kapasitas terbesar juga terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder Polyurethane yaitu nilai daya sebesar $5,36 \times 10^{-1}$ W, nilai energi sebesar $1,80 \times 10^{-2}$ Wh, dan nilai kapasitas sebesar $8,94 \times 10^{-1}$ F. Pada pengukuran galvanostatic charging-discharging, dihasilkan kurva pengisian dan pengosongan baterai litium ion. Baterai yang memiliki nilai slope pengosongan paling rendah adalah yang diinginkan karena artinya baterai tersebut dapat digunakan lebih lama. Slope pengosongan baterai terendah terdapat pada baterai dengan media elektrolit cair konsentrasi 40% dengan binder PU yaitu sebesar -0,0039.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Proses Produk Industri Kimia Fakultas Teknik Universitas sriwijaya dan Laboratorium Fuel Cell dan Hydrogen Fakultas MIPA

3.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai dari tanggal September 2022 sampai Nopember 2022

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batang kangkung air, KOH p.a Riedel de Haen, Binchotan, Lembaran tembaga, Aqua demineralisasi, Tinner, LiCl Merck, LiSO₄, serbuk TiO₂, Poliuretana dan Polyacrylate, dan Tri etil Amina

3.2.2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Oven Elextrolux EOT 3000, Aluminium foil, Timbangan analitis adam, Reaktor hidrotermal, Microwave sharp R-249IN, X-ray Diffraction (XRD) Rigaku Miniflex 600 dengan radiasi CuK α , Scanning Electron Microscopic (SEM) tipe JSM 6510 A/JSM 6510LA, Fourier Transfer Infra-Red Method (FT-IR) Shimadzu dan Potentiostat Dummycell 2.

3.3. Rancangan Penelitian

3.3.1. Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini adalah LiCl yang merupakan jenis elektrolit pada baterai litium ion. Terdapat 8 jenis baterai litium ion yang divaribelkan bebas, dimana variabel \ bebas pada penelitian ini terdiri dari jenis binder, media elektrolit dan konsentrasi. Pada jenis binder dan media elektrolit, terdapat 2 jenis yang digunakan pada

penelitian ini, dimana jenis binder yang digunakan adalah binder PU (Polyurethane) dan binder Polyacrylate. Sedangkan, media elektrolit yang digunakan adalah media cair. Sementara itu, konsentrasi elektrolit LiCl dan LiSO₄ yang digunakan adalah 50%. Sedang untuk perlakuan Emulsi, ada yang menggunakan emulsi Tri Etil Amine (TEA) dan tidak menggunakan emulsi

3.3.2. Tahapan Penelitian

3.3.2.1. Preparasi Karbon

Preparasi karbon dari batang kangkung air dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama dilakukan dengan proses hidrotermal dan tahap kedua dilakukan dengan proses pirolisis. Pada tahap pertama, batang kangkung air yang telah dibersihkan digunting dengan ukuran ± 5 Cm, proses pengguntingan ini bertujuan agar batang kangkung air lebih mudah untuk dikeringkan. Proses pengeringan batang kangkung air dilakukan dengan menggunakan pengeringan alami dan tergantung temperatur lingkungan selama 7 hari. Pengeringan ini bertujuan untuk mengetahui kadar air bebas yang terkandung dalam batang kangkung air.

Setelah dilakukan pengeringan, batang kangkung air kering dikeringkan ulang dalam oven untuk memastikan pengurangan kandungan air pada batang kangkung kering sudah tidak berjalan lagi. Setelah itu batang kangkung kering *digrinding* agar menjadi serbuk batang kangkung air. Serbuk yang didapatkan kemudian disaring dengan ukuran 200 mesh. Sebanyak 40 gram serbuk batang kangkung air dicampurkan dengan 0,08 gram KOH pada 100 ml air sambil diaduk selama 3 menit. Hasil pencampuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal dengan kondisi tekanan di dalam reaktor sebesar 30 bar dan dipanaskan menggunakan oven listrik pada suhu 200°C selama 16 jam. Setelah 16 jam, reaktor didinginkan pada suhu kamar dan tekanan atmosfer. Proses hidrotermal menghasilkan serbuk batang kangkung air yang berwarna coklat (*torrefaction material*).

Pada tahap kedua, sebanyak 20 gram *torrefaction material* dimasukkan ke dalam tungku dan ditambahkan 4 gram binchotan dan di-microwave selama 35 menit dengan daya listrik microwave sebesar 1000 watt. Suhu dalam tungku meningkat akibat gerakan molekul setelah terpapar microwave. Kenaikan suhu berlangsung selama kontak dengan microwave dan 1 – 2 jam setelahnya, sehingga suhu dalam tungku mencapai 800oC.

Pencapaian suhu hingga 800°C terjadi karena adanya penambahan binchotan yang berfungsi sebagai penyerap energi dari microwave serta torrefaction material yang telah berubah menjadi karbon. Hasil akhir dari proses pirolisis ini adalah karbon yang berwarna hitam.

3.3.2.2. Pembuatan Baterai

Pada baterai berbasis elektrolit cair, pembuatan dilakukan dengan cara menyusun separator yang terdiri dari lembar fiber tissue, pembatas dan aplikator serta menyiapkan anoda dan katoda. Setelah separator, anoda dan katoda disiapkan maka ketiganya dimasukkan ke dalam kantung aluminium sehingga terbentuk baterai tanpa elektrolit. Baterai tanpa elektrolit kemudian divakum dan disegel tanpa udara. Untuk menyiapkan baterai dengan elektrolit, disiapkan larutan LiCl sebagai elektrolit dengan konsentrasi 50%. Elektrolit kemudian diisikan ke dalam baterai dengan cara menyuntikkan larutan LiCl. Penyuntikkan elektrolit dilakukan pada glovebox dan dilanjutkan dengan pengepresan. Hasil yang didapat pada tahap ini adalah baterai dengan elektrolit cair.

Pada baterai yang lain pembuatan dilakukan dengan cara mengoleskan gel Tri Etil Amine (TEA) yang mengandung masing-masing konsentrasi LiCl sebesar 40% pada anoda dan katoda. Kedua elektroda tersebut kemudian ditempelkan satu sama lain dengan gel TEA dibagian tengahnya dan disusun bersama pembatas dan aplikator serta dimasukkan ke dalam selongsong baterai dan dilakukan pengepresan. Hasil yang didapat pada tahap ini adalah baterai dengan elektrolit gel.

Sedangkan untuk baterai dengan elektrolit Li_2SO_4 dilakukan hal yang sama, serta keduanya dicampur dengan campuran bahan pengental Triethanolamine (TEA). Baterai kemudian dimuat elektrolit dengan cara larutan elektrolit tersebut disuntikkan dengan glovebox dan dipress.

3.3.3. Karakterisasi Karbon

3.3.3.1 Karakterisasi Morfologi

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan ketika ingin mendapat informasi mengenai karakterisasi morfologi baterai. Scanning Electron Microscope (SEM) mengganti cahaya dengan memanfaatkan pancaran gelombang elektron agar bisa

mengamati benda dengan resolusi yang tinggi, sehingga dapat mengetahui mikrostruktur pada elektroda.

3.3.3.2 Karakterisasi Kristalografi

X-Ray Diffraction Method (XRD) digunakan ketika ingin mengetahui karakteristik kristalografi dengan cara mendifraksikan cahaya atau foton melewati celah kristal. X-Ray Diffraction Method (XRD) memiliki peran sebagai penganalisis komposisi suatu fasa ataupun senyawa pada suatu material dan karakterisasi kristal, mengidentifikasi perubahan kristalin pada material dan dapat mengetahui ukuran partikelnya.

3.3.3.3 Karakterisasi Gugus Fungsi

Karakterisasi gugus fungsi pada sampel menggunakan alat Fourier Transfer Infra-Red Method (FT-IR). Alat ini digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisa campuran. Pada setiap spektrum senyawa akan menghasilkan spektrum yang berbeda-beda, hal ini disebabkan pada tiap spektrum dari suatu senyawa memiliki sifat yang khas.

3.3.4 Pengujian Kinerja Baterai

Pengujian ini menggunakan alat potensiostat, baterai elektrolit cair (LiCl dan Li₂SO₄) dengan konsentrasi masing-masing 40% dan telah dicampur Triethanolamine (TEA) dapat diuji kinerjanya dengan menganalisa galvanostatic charging-discharging (GCD) dan cyclic voltammetry (CV) pada baterai

3.3.4.1 Penentuan Daya dan Energi dari Pengukuran Cyclic Voltammetry (CV)

Pengukuran ini mendapatkan data mengenai pola reaksi reduksi-oksidasi yang terjadi, voltase dan nilai arus, perlu dilakukan analisa cyclic voltammetry (CV), karena ketika menghitung energi dan daya, diperlukan data nilai arus dan voltase. Cara yang dilakukan untuk pengukuran cyclic voltammetry (CV) ialah probe elektroda kerja dihubungkan dengan katoda baterai, dan probe referensi serta elektroda pencacah pada alat potensiostat dihubungkan dengan anoda baterai. Dalam menghitung besarnya kapasitas spesifik dari grafik probe referensi serta elektroda pencacah pada alat potensiostat yang diuji, dapat menggunakan persamaan dibawah ini. Selain itu, kelakuan

kapasitif elektrokimia elektrodaelektrodanya dapat digambarkan dari data CV, sehingga hasil akhir dari penelitian ini dapat dibandingkan dan disimpulkan.

$$C = \int(Ic - Id) s \times m \quad (3.1)$$

dengan :

C = Kapasitansi Spesifik (Farad/gram)

Ic = Arus oksidasi (Ampere)

Id = Arus reduksi (Ampere)

m = Massa Elektroda (gram)

s = Scan Rate (mV/s)

Sedangkan untuk perhitungan energi (E) dan daya (P) dapat diketahui dari hasil pengujian Cyclic Voltammetry (CV) :

$$E = 0,5 \times C \times V^2 \times 13,6 \quad (3.2)$$

$$P = E \Delta t \times 3600 \quad (3.3)$$

dengan :

E = Energi (Wh)

V = Potential Window (Volt)

P = Daya (W)

t = Waktu discharge (jam)

3.3.4.2 Penentuan Kestabilan Siklus dan Kecepatan Pengisian-Pengosongan dengan Metoda Galvanostatic

Penggunaan galvanostat ketika mengalisa galvanostatic chargingdischarging bertujuan untuk mendapatkan data muatan penyimpanan energi suatu material dan dinyatakan dalam satuan Farad/gram. Cara menggunakan Galvannostat ialah dengan menggunakan probe elektroda kerja yang dihubungkan dengan katoda baterai dan probe referensi serta elektroda pencacah dihubungkan dengan anoda baterai. Dengan menggunakan rumus berikut, hasil uji Charge-Discharge ketika discharging dapat dikalkulasi sehingga mendapatkan nilai kapasitansinya

$$C = I \times t \quad (3.4)$$

dengan :

C = Kapasitansi (Farad/gram)

I = Arus (ampere)

$t = \text{waktu (sekon)}$

3.3.5. Metode Pengolahan Data

Pada penelitian ini metode pengolahan data yang diterapkan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah metode yang digunakan untuk mengolah data yang bersifat numerik atau angka. Data yang didapatkan dari penelitian ini berupa data hasil analisis pengukuran cyclic voltametry (CV) dan galvanostatic charging-discharging (GCD). Pengukuran cyclic voltametry (CV) menghasilkan data angka dari tegangan, arus, waktu pengukuran dan scan rate yang digunakan. Data tersebut diolah menggunakan formula kapasitansi untuk mendapatkan nilai kinerja dari baterai berupa nilai daya dan energi. Pada grafik cyclic voltametry juga dapat dilihat adanya nilai puncak reduksi dan oksidasi yang digunakan untuk data beda arus dan tegangan. Sedangkan, pada grafik galvanostatic charging-discharging (GCD) menggambarkan lifetime battery dari sample, sehingga dari grafik dapat dibaca siklus baterai yang baik. Jika grafik curam maka pengisian dan pengosongan berlangsung cepat, sedangkan grafik yang landai maka pengisian dan pengosongan berlangsung lambat.

3.3.6. Analisis Data

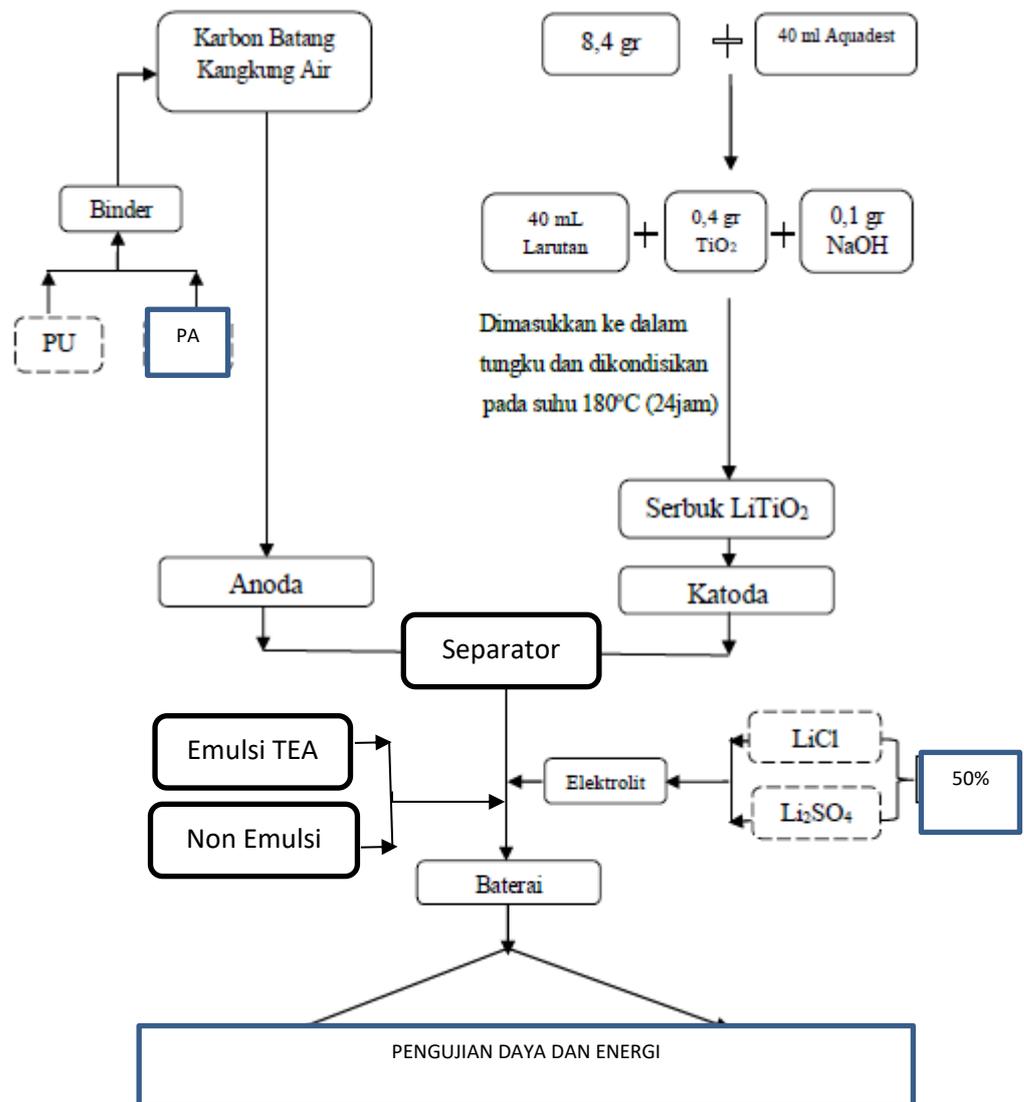
SEM, difaktogram XRD, dan Spectrum FT-IR akan menunjukkan data hasil penelitian dalam bentuk gambar. Perangkat lunak image akan menunjukkan gambar hasil SEM. Cara menganalisa hasil SEM ialah dengan mengukur ketebalan, mengamati, dan morfologi batang kangkung air yang telah diolah menjadi karbon. Kemudian untuk menganalisa data hasil difraktogram XRD, dilakukan perbandingan keberadaan puncak difraksi dengan database standar ICCD dan JCPDS pada sudut 2θ . Pada pengujian kinerja baterai, didapatkan dua data, voltammogram dari pengukuran cyclic voltammetry (CV) dan bertujuan untuk mengkalkulasi nilai energi (E) dan daya (P). Kemudian data galvanogram dari pengukuran galvanostatic charging-discharging (GCD) berperan dalam kalkulasi kecepatan dan pengosongan muatan pada baterai dan ditunjukkan dengan persamaan (3.5) yang merupakan persamaan matematis dari slope garis pengosongan.

$$C = I \times t \quad (3.5)$$

Batang kangkung air yang telah melalui proses pengeringan dan karbonisasi akan menghasilkan karbon. Karbon tersebut nantinya akan berperan sebagai anoda Katoda

yang digunakan berupa serbuk LiTiO_2 yang telah melalui proses hidrotermal. Pembuatan baterai dikerjakan dengan mengatur lembar fiber tissue menjadi separator, mempersiapkan katoda dan anoda serta pembatas dan aplikator. Kemudian ketika ketiga bahan (separator, anoda, dan katoda) siap, bahan tersebut dimuat dalam selongsong. Baterai kemudian dimuat elektrolit dengan cara larutan elektrolit tersebut disuntikkan bersamaan dengan penambahan emulsi TEA dan dipress. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada baterai yang tidak ada penambahan emulsi TEA

3.3.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Keterangan Gambar 3.1.

1. PU = Polyurethane
2. PA = PolyAcrilate
3. TEA = Tri Etil Amina

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Preparasi Bahan Anoda Dari Kangkung

Proses preparasi anoda dari batang kangkung air terdiri dari beberapa tahapan. Yang pertama adalah pengumpulan bahan baku. Lokasi pengambilan dan Pengumpulan bahan Baku terletak di Palembang , kecamatan Ilir Barat 1 di kolam dan rawa-rawa di lorong Serawai Bukit Lama. Lokasi dipilih dikarenakan akses yang mudah dan jarak dari kolam/rawa ke jalan tidak terlalu jauh. Sampel yang diambil pada penelitian ini saat masih segar (raw) ditimbang sekitar 7 kg dan masih menempel daun , akar, dan sedikit lumpur pada sampel. Setelah itu sampel dicuci dan dibersihkan sehingga yang masih adalah batang, daun,dan akar kangkung air.

Setelah proses pembersihan dilanjutkan dengan proses pemisahan daun dan akar kangkung dari batang kangkung air. Berat semula sampel 7 kilogram setelah dilakukan proses pemisahan menjadi 5 kilogram. Kemudian Batang kangkung Air dijemur selama 7 hari menggunakan metode pengeringan alami secara konveksi dengan cahaya matahari . Proses pengeringan dilakukan dari jam 10 pagi sampai jam 3 siang selama 7 hari sekuensial. Berikut disajikan data hasil openelitian dan pengamatan laju pengeringan batang kangkung air.

Pada penelitian dan pengamatan tentang proses pengeringan dengan sinar matahari yang dilakukan selama 4 jam dalam sehari dan berlangsung selama 7 hari (intermittent drying) diperoleh data bahwa selama 4 hari pertama laju pengeringan masih berlangsung dengan cepat dan margin pengurangan rata-rata sebesar 13°C. Tetapi serata telah hari ke 5 sampai hari ke 7 laju pengeringan cenderung stagnan dan margin pengurangan temperatur rata-rata 3°C. Proses pengeringan merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan dalam preparasi bahan baku untuk karbon , karena bahan baku buah, daun, batang dan bunga tumbuhan segar masih mengandung air. Air yang terkandung dalam bahan baku harus dihilangkan agar proses torefaksi dapat berjalan dengan lebih cepat.

Efisiensi pengeringan dengan memanfaatkan energi matahari bergantung pada besar kecilnya intensitas cahaya matahari. Grafik laju pengeringan menunjukkan pengaruh perubahan nilai Lumens terhadap pengurangan berat untuk batnag kangkung air. Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tingginya nilai Lumens tidak mempengaruhi kecepatan laju pengeringan. Oleh karena itu diperlukan verifikasi pengurangan kandungan air didalam alat bantu

yang lebih stabil temperaturnya. Oven Memmert dipilih menjadi alat verifikasi kandungan air yang masih ada didalam batang kangkung air yang telah dikeringkan secara alami

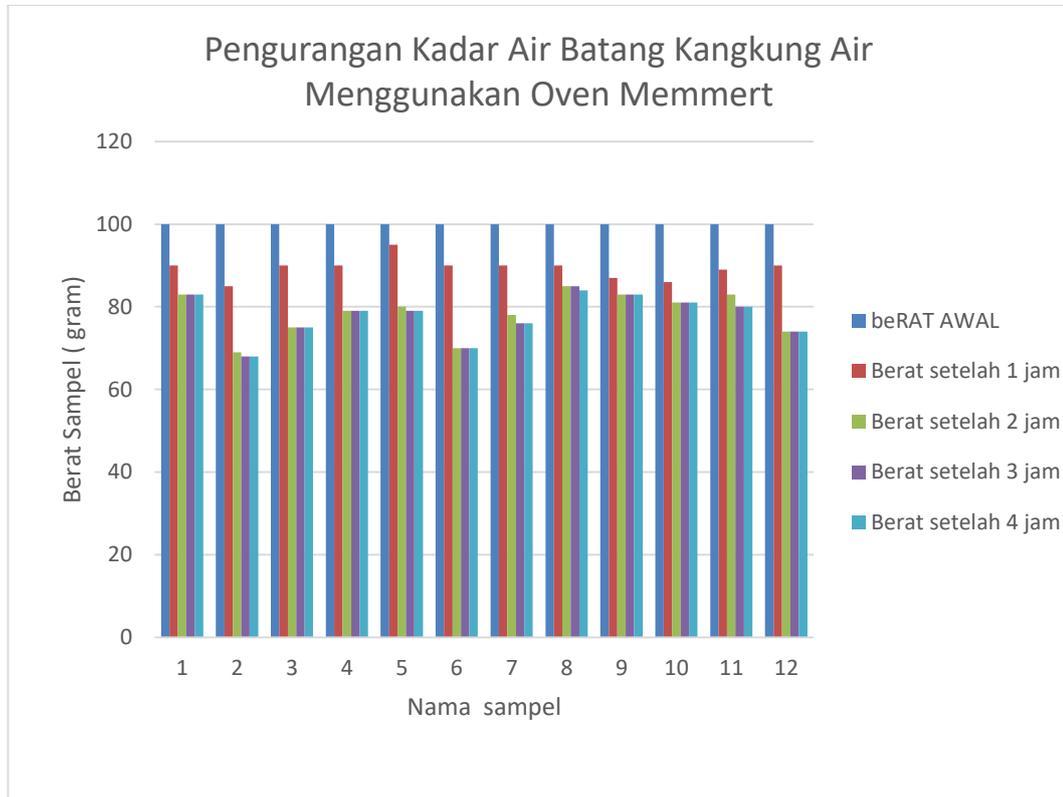
Berikut ini data hasil pengamatan yang diambil dari beberapa sampel batang kangkung kering

Tabel 4.1. Pengurangan Kandungan Air Menggunakan Oven

Sampel	Berat Awal (gram)	Berat Setelah 1 Jam (gram)	Berat Setelah 2 Jam (gram)	Berat Setelah 3 Jam (gram)	Berat Setelah 4 Jam (gram)
1	100	90	83	83	83
2	100	85	69	68	68
3	100	90	75	75	75
4	100	90	79	79	79
5	100	95	80	79	79
6	100	90	70	70	70
7	100	90	78	76	76
8	100	90	85	85	84
9	100	87	83	83	83
10	100	86	81	81	81
11	100	89	83	80	80
12	100	90	74	74	74
	Rata-rata Pengurangan Berat	89,33	78,33	77,75	77,67

Dari tabel ini dapat dilihat bahwa masih ada sedikit kandungan air yang ada didalam batang kangkung air. Waktu yang dibutuhkan untuk memverifikasi bahwa tidak ada lagi pengurangan

berat kangkung air membutuhkan waktu selama 4 jam . dengan rata-rata pengurangan 11 gram pada 1 jam pertama dan secara signifikan menurun hingga 0,533 gram pada 2 jam, dan terakhir turun menjadi 0,08 gram . Hasil terakhir dapat diambil kesimpulan bahwa sudah tidak akan terjadi pengurangan kadar air pada batang kangkung.



Gambar 4.2. Laju pengeringan Batang Kangkung menggunakan Oven

Selain itu dengan adanya variasi teknik pengeringan terjadi perubahan dalam ikatan karbon dalam biomassa yang dalam penelitian adalah kangkung air adalah adanya reaksi pembentukan senyawa gugus hidroksil dan karbonil yang akan akan berdampak pada sifat konduktivitas dari Karbon aktif yang akan dihasilkan.

4.2. Pembuatan Baterai

Baterai isi ulang dapat digunakan berkali-kali dengan mengisi ulang saat daya mulai habis. Jenis baterai isi ulang yang paling banyak digunakan di berbagai perangkat elektronik adalah lithium-ion (Tran et al., 2021; J. Liu dkk., 2022; Li dkk., 2022). Dibandingkan dengan teknologi baterai tradisional, baterai lithium-ion mengisi daya lebih cepat (Al-Saadi et al., 2022), bertahan lebih lama (Yang et al., 2021), dan memiliki kepadatan daya yang lebih tinggi untuk masa pakai baterai yang lebih lama dalam paket yang lebih ringan (Kaliaperumal et al., 2021). Baterai lithium-ion merupakan media penyimpanan energi yang dapat digunakan terus menerus

dengan diisi ulang dan saat dilepaskan elektron bergerak dari elektroda negatif ke positif. Pada komponen baterai lithium-ion, terdapat bagian elektroda. Bagian ini berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi dan tempat terjadinya reaksi kimia. Oleh karena itu, bahan dasar elektroda sangat mempengaruhi jumlah energi yang tersimpan dan proses yang terjadi dalam elektroda tersebut, yaitu reaksi elektrokimia (Zhou et al., 2022).

Hingga saat ini, grafit telah banyak digunakan untuk membuat karbon sebagai penyusun elektroda dalam baterai lithium-ion. Sayangnya, grafit merupakan bahan yang sulit diperoleh karena harus diperoleh dari kegiatan penambangan (Beaudet et al., 2020). Kegiatan penambangan yang dilakukan untuk mendapatkan grafit secara terus menerus merusak lingkungan (Pigłowska et al., 2021). Selain itu, grafit dari sudut pandang ekonomis merupakan barang yang relatif mahal sehingga berdampak signifikan terhadap harga baterai secara keseluruhan (Brückner et al., 2020). Untuk meminimalisir kerugian penggunaan grafit untuk membuat baterai lithium-ion, maka perlu mencari alternatif bahan baru yang lebih mudah didapatkan, ramah lingkungan, dan dengan harga yang lebih murah.

Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa karbon dari tumbuhan berpotensi untuk digunakan sebagai superkapasitor yang berkisar dari kulit pisang (Nazhipkyzy, Yeleuov, et al., 2022), rumput (She et al., 2018), kedelai (Chung et al., 2020), batang jagung (Kigozi et al., 2020), tempurung kelapa (Lee et al., 2021), dan kangkung air (Lin et al., 2022). Kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) merupakan tanaman air yang dapat ditemukan di Cina Tenggara, India, dan Asia Tenggara yang dapat dengan mudah tumbuh di daerah perairan seperti sungai, sawah, dan rawa dengan membentuk koloni besar (Yu et al., 2018; Ma dkk., 2019; Abdul Aziz dkk., 2020). Karena mudah menyerap logam berat dari media pertumbuhan, seperti merkuri, arsenik, seng, tembaga, dan nikel, kangkung sangat berbahaya jika dikonsumsi oleh makhluk hidup karena dapat menyebabkan keracunan, kanker, atau penyakit berbahaya lainnya (Vongdala et al., 2018; Zaheer dkk., 2020; Tao dkk., 2022). Selain itu, keberadaan kangkung dapat merusak tanaman yang tumbuh dekat dengan tanaman ini sehingga tingkat produksi tanaman lain terus menurun (Uddin et al., 2021). Karena populasinya yang besar, sifatnya yang beracun, dan menjadi parasit bagi tanaman lain di sekitarnya, penggunaan kangkung sebagai karbon memiliki kontribusi besar dari aspek ekonomi, kesehatan, dan lingkungan.

Pemanfaatan kangkung menjadi karbon sebagai bahan dasar pembuatan elektroda pada baterai lithium-ion sebelumnya telah dilakukan oleh Ingried et al (Ingried et al., 2022). Penelitian ini menggunakan media elektrolit LiCl 10%, 20%, dan 40%. Studi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan elektrolit LiCl 40% mampu menghasilkan daya dan energi terbesar. Ini adalah bukti bahwa peningkatan persentase media elektrolit akan meningkatkan daya dan energi yang

dihasilkan pada baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung. Selain itu, kajian lebih lanjut dengan meningkatkan persentase media elektrolit pada baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung perlu dilakukan. Selain variasi penyajian media elektrolit, hasil Ingried et al (Ingried et al., 2022) juga membandingkan media elektrolit berupa cairan dan gel. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan media elektrolit dalam bentuk cair menghasilkan daya dan energi yang lebih besar dibandingkan media elektrolit dalam bentuk gel. Dapat disimpulkan bahwa tingginya persentase media elektrolit dalam bentuk cair dapat memaksimalkan daya dan energi yang dihasilkan dari baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung. Penelitian sebelumnya oleh Lang et al. (Lang et al., 2020) telah menggunakan 50% media elektrolit AlCl dalam bentuk cairan pada baterai cair, tetapi persentase setinggi itu belum pernah dilakukan pada baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air yang dieksplorasi untuk mengisi kesenjangan penelitian.

Selain persentase media elektrolit, beberapa variabel penting lainnya yang mempengaruhi daya dan energi yang dihasilkan adalah jenis media elektrolit (Kuganathan, 2022), binder (Fitz et al., 2021), dan emulsi (Cui et al., 2019). Optimalisasi dari berbagai variabel untuk memaksimalkan daya dan energi yang dihasilkan adalah langkah penting untuk meningkatkan kinerja baterai. Upaya tersebut sebelumnya telah dilakukan oleh Vieceli (Vieceli et al., 2020), Hosseinzadeh (Hosseinzadeh et al., 2017), dan Park (Park et al., 2021) untuk baterai lithium-ion dengan karbon dari grafit, tetapi karbon dari kangkung belum dieksplorasi. Upaya lebih lanjut dalam karbon dari kangkung air dapat menutup kesenjangan penelitian yang mengakomodasi potensi terbaik untuk pemanfaatan kangkung air sebagai karbon dalam baterai lithium-ion.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis daya dan energi yang dihasilkan pada baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air . 50% penggunaan media elektrolit cair telah dipertimbangkan berdasarkan penelitian sebelumnya dan memberikan peningkatan dalam hal daya dan energi. Variabel media elektrolit, binder, dan emulsi akan dikaji lebih lanjut sebagai variabel optimasi.

Batang kangkung air yang sudah dibersihkan dipotong dengan ukuran ± 5 cm, proses pemotongan ini bertujuan agar batang kangkung lebih mudah kering. Proses pengeringan batang kangkung air dilakukan dengan menggunakan metode konvensional yaitu pengeringan dengan memanfaatkan sinar matahari dan untuk memaksimalkan hasil pengeringan dilakukan juga didalam oven. Pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar air yang terkandung dalam batang kangkung air dan menentukan kadar air bebas. Setelah kering, batang kangkung air *diblender* hingga halus. Sebanyak 40 gram bubuk batang kangkung air dicampur dengan larutan KOH (0,08 gram KOH dalam 100 ml air) sambil diaduk selama ± 3 menit. Hasil

pencampuran kemudian dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal dengan tekanan di dalam reaktor 30 bar dan dipanaskan menggunakan oven listrik pada suhu 200°C selama 16 jam. Setelah 16 jam, reaktor didinginkan hingga suhu kamar dan tekanan atmosfer. Proses hidrotermal menghasilkan bubuk batang kangkung yang berwarna kecoklatan (produk torefaksi).

20 gram produk torefaksi dimasukkan ke dalam tungku yang dikelilingi oleh binchotan dan kemudian di microwave selama 35 menit dengan daya microwave 1000 W. Penggunaan binchotan yang berfungsi sebagai penyerap energi dari microwave dan torrefaksi material yang telah berubah menjadi nanokarbon (karbon berpori) .

Persiapan anoda untuk baterai dilakukan dengan mencampur nanokarbon dari batang kangkung air dengan binder Polyurethane atau Polyacrylate untuk membentuk pasta. Kemudian campuran yang telah dalam bentuk pasta dilapisi pada permukaan tembaga yang sebelumnya telah dipotting dengan ukuran 12x 8 cm . Setelah itu, lembaran tembaga yang dilapisi anoda diratakan. Persiapan katoda untuk baterai dilakukan dengan melarutkan 8,4 gram LiCl atau Li₂SO₄ ke dalam 40 ml air deionisasi. Larutan tersebut kemudian dicampur dengan 0,4 gram TiO₂ dan 0,1 gram NaOH.

Persiapan Baterai

Pembuatan baterai dengan basis elektrolit cair dilakukan dengan memisahkan antara lembaran tembaga yang digunakan sebagai anoda, dan katoda dengan pemisah yang berbasis material serat isolator. Ketika anoda, pemisah dan katoda sudah disusun, selanjutnya dimasukkan ke dalam kantung berbentuk segi empat dengan material aluminium sampai baterai tanpa elektrolit terbentuk. Kemudian direkatkan dengan lem selanjutnya udara yang masih terdapat dikantung baterai divakum. Setelah itu, siapkan baterai dengan media elektrolit LiCl atau Li₂SO₄ dengan konsentrasi 50%. Emulsi dengan Triethylamine kemudian ditambahkan dan baterai lain tanpa emulsi. Baterai kemudian diisi dengan elektrolit dengan cara disuntikkan.

Optimasi Variabel

Tiga variabel dari baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air selanjutnya diamati untuk memaksimalkan daya dan energi yang dihasilkan, ada media elektrolit, binder, dan emulsi. Untuk setiap variabel menggunakan dua objek yang berbeda, dimana media elektrolit menggunakan konsentrasi 50% dari LiCl dan Li₂SO₄, binder menggunakan Polyurethane dan Polyacrylate, dan emulsinya menggunakan Triethylamine dan Non-emulsifier sehingga terdapat delapan variasi yang berbeda pada baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air dijelaskan pada Tabel 1. Pemilihan setiap objek pada setiap variabel didasarkan pada rasionalisasi

baterai lithium-ion berbasis karbon yang diadopsi secara luas dari grafit **Tabel** (Reddy et al., 2020; Zhao et al., 2021), harga yang relatif terjangkau (Peters et al., 2019; Doose et al., 2021), dan ketersediaan di pasar yang umumnya mudah diperoleh (Kim et al., 2020; Cholewinski dkk., 2021).

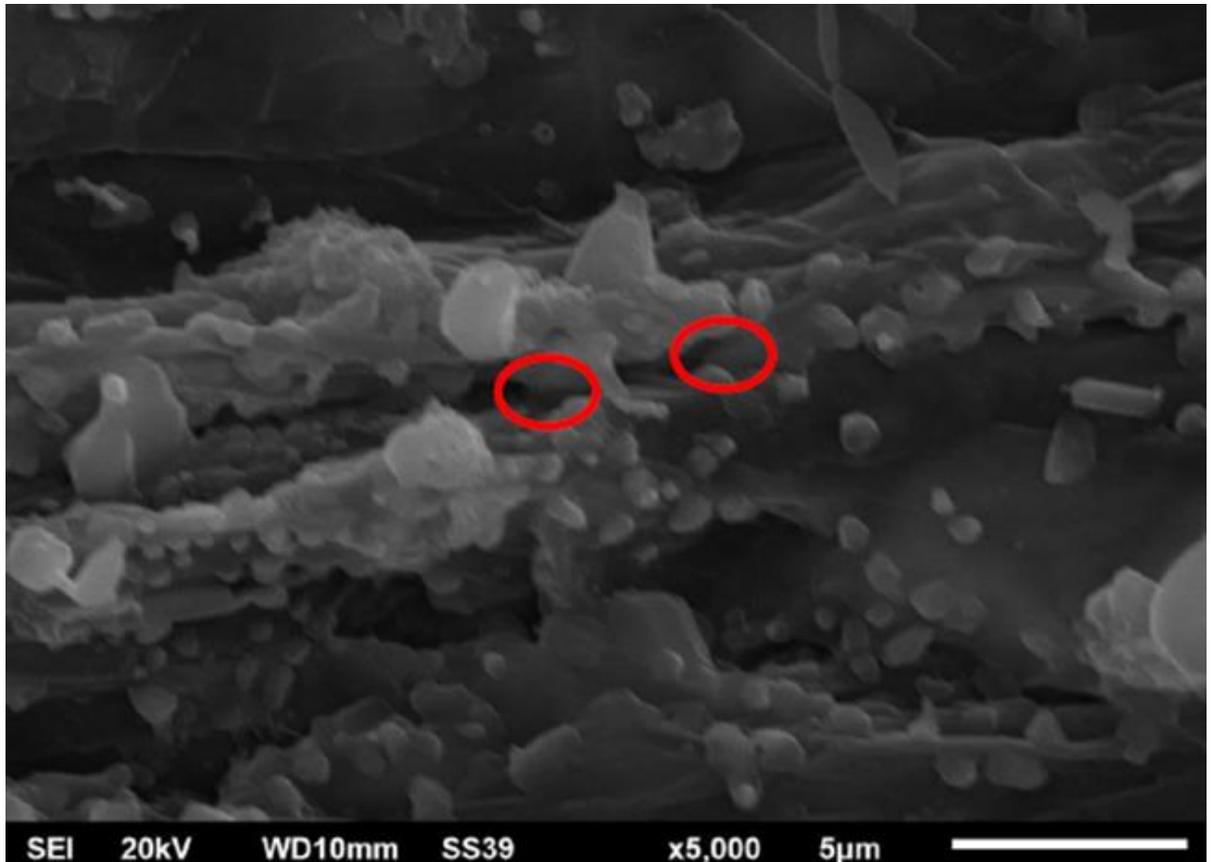
Tabel 4.3. Variasi baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air

Sampel	Konsentrasi Elektrolit	Media Elektrolit	Binder	Emulsi
Run 1	50%	LiCl (cair)	Poliuretan	Triethylamine
Run 2		Li ₂ SO ₄ (cair)		
Run 3		LiCl (cair)	Poliakrilat	
Run 4		Li ₂ SO ₄ (cair)		
Run 5		LiCl (cair)	Poliuretan	Non-pengemulsi
Run 6		Li ₂ SO ₄ (cair)		
Run 7		LiCl (cair)	Poliakrilat	
Run 8		Li ₂ SO ₄ (cair)		

Karakterisasi Karbon Berbasis Batang Kangkung Air

Scanning Electron Microscope (SEM) banyak digunakan untuk mengamati struktur morfologi permukaan sampel pada pembesaran tinggi menggunakan elektron berenergi tinggi berkas (Nazhipkyzy, Maltay, et al., 2022). Karakterisasi SEM dilakukan pada Karbon Nano dari Batang Kangkung air . Hasil yang diperoleh dalam karakterisasi SEM dengan pembesaran 5.000 kali menunjukkan bahwa karbon batang kangkung air memiliki pori-pori padat yang dibutuhkan untuk menangkap dan melepaskan ion Li⁺. Pori-pori dalam karbon memiliki ukuran yang bervariasi. Pada Gambar ukuran pori-pori yang terbentuk berukuran antara 0,7-5 m. Pori-pori ini diperlukan untuk menangkap dan melepaskan ion Li⁺. Pembentukan pori-pori ini terjadi karena pengaruh panas selama proses pirolisis, menghasilkan dekomposisi senyawa organik pada karbon. Karbon yang

dihasilkan dalam proses pirolisis juga diuji kandungannya yang disajikan pada Tabel . Kandungan karbon dari batang kangkung dianalisis menggunakan EDX yang merupakan bagian dari alat SEM.

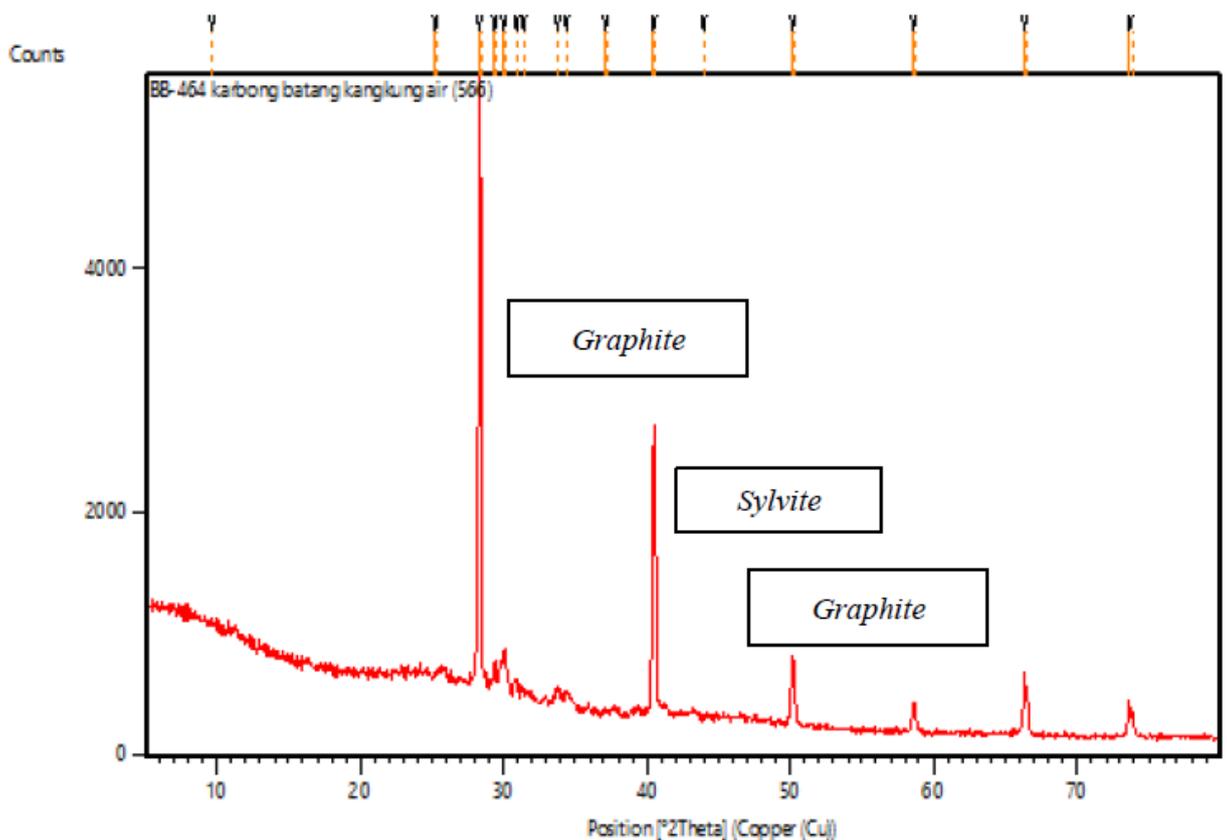


Gambar 4.3. Karakterisasi SEM dari kangkung air membendung karbon.

Tabel 4.3. Analisa Kandungan Atomik pada Kangkung Air

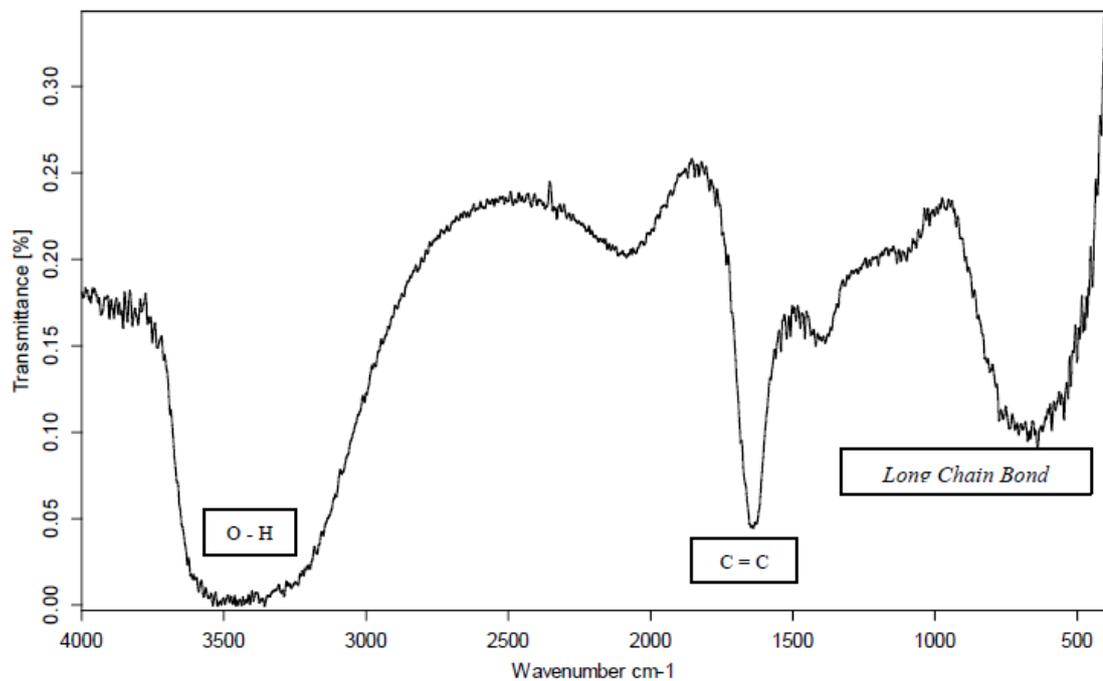
Elemen	Atom (%)
Karbon (C)	79.45
Oksigen (O)	13.28
Natrium (Na)	0.63
Magnesium (Mg)	0.29
Silikon (Si)	0.28
Klorin (Cl)	1.56
Kalium (K)	3.53
Kalsium (Ca)	0.96

Selanjutnya, X-Ray Diffraction Method (XRD) bertujuan untuk mengkarakterisasi kristalografi sampel melalui puncak yang terbentuk pada sudut difraktogram 2θ (Volkov et al., 2022). Pada penelitian ini, sudut 2θ yang dibaca dalam pembentukan puncak berkisar antara 0° - 80° yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil spektrum XRD pada karbon batang kangkung air diperoleh puncak yang menunjukkan adanya struktur kristal yang terbentuk dalam sampel karbon Kangkung air. Berdasarkan spektrum XRD pada karbon batang kangkung air, menghasilkan puncak tertinggi pada puncak 1 Gambarst, 2nd, dan 3rd. Puncak^{1st} pada sudut $28,3083^\circ$ menghasilkan ketinggian puncak 3717 cts, puncak ke-2 pada sudut $40,475^\circ$ menghasilkan ketinggian puncak 1795 cts, dan puncak ke-3 pada sudut $50,137^\circ$ menghasilkan ketinggian puncak 483 cts Berdasarkan data JCPDS-ICDD, puncak yang terbentuk adalah struktur kristal grafit dan sylvite.



Gambar 4.4. Gambar difraktogram karbon batang Kangkung air

Selanjutnya, Fourier Transfer Infra-Red Method (FT-IR) bertujuan untuk mengkarakterisasi gugus fungsi dalam suatu sampel (Hamza et al., 2022). Puncak yang terbentuk pada spektrofotometer FT-IR menunjukkan ikatan yang terbentuk. Pada spektrofotometer FT-IR, sampel yang digunakan adalah karbon batang Kangkung air dijelaskan pada Gambar 3, Gambar spektrofotometer FT-IR menunjukkan adanya ikatan alkohol O – H pada puncak 3300–3500 cm^{-1} , dan C = C cincin aromatik pada puncak wilayah 1625–. 1650 cm^{-1} . Proses pemanasan yang terjadi pada pirolisis menyebabkan putusnya ikatan yang terbentuk pada beberapa gugus fungsi sehingga karbon hanya menunjukkan 2 puncak gugus fungsi, hal ini disebabkan oleh pengaruh suhu tinggi selama proses berlangsung.



Gambar 4.5. Karakterisasi FT-IR karbon batang kangkung air.

Analisis Tegangan dan Arus pada Baterai

Baterai lithium-ion menghasilkan listrik dengan mengubah energi kimia yang ada dalam komponen baterai dengan reaksi oksidasi-reduksi elektrokimia (Jankowiak et al., 2019). Selama proses pengisian, ada transfer di mana ion lithium bergerak dari elektrode positif (katoda) ke elektroda negatif (anoda) atau yang biasa disebut sebagai puncak oksidasi, di sisi lain, selama proses pemakaian, lithium-ion bergerak dari elektroda negatif

(anoda) ke elektroda positif (katoda) yang disebut sebagai puncak reduksi (Mevawalla et al., 2020). Nilai tegangan dan arus dalam proses reduksi dan oksidasi dijelaskan pada 4.4.

Tabel 4.4. Arus dan tegangan dalam proses oksidasi dan reduksi

Variasi	Oksidasi		Reduksi	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1 st	3.096	7.981	0.422	5.960
Ke-2	3.402	6.233	0.936	4.872
3 rd	3.427	6.751	1.129	4.757
Ke-4	2.425	5.231	0.649	3.667
5 th	2.513	7.527	0.581	5.835
6 th	3.561	6.439	1.027	4.921
7 th	3.422	6.958	1.328	5.038
8 th	3.418	6.278	0.835	4.375

Diketahui bahwa arus tertinggi untuk proses oksidasi dan reduksi ditemukan pada variasi¹st masing-masing 7,981 A dan 5,960 A, sedangkan yang terendah ditemukan pada variasi ke-4 sebesar 5,231 A pada proses oksidasi dan 3,667 A pada reduksi process. Jika arus, nilai tertinggi dan terendah untuk kedua proses dimiliki oleh variasi yang sama, ini berbeda untuk tegangan. Tegangan tertinggi dan terendah dalam proses oksidasi ditemukan pada variasi³rd masing-masing 3,427 V dan 2,425 V. Sedangkan tegangan tertinggi dan terendah dalam proses reduksi masing-masing terdapat pada variasi^{ke-7} sebesar 1,328. V dan variasi¹st 0,422 V.

Dari pemaparan hasil pengukuran tegangan dan arus dari proses oksidasi dan reduksi, media elektrolit memiliki peran dominan dalam hasil pengukuran yang diperoleh, terutama pada arus dimana media elektrolit LiCl pada variasi¹st memberikan nilai arus tertinggi, sedangkan Li₂SO₄ pada variasi^{ke-4}, memberikan nilai terendah saat ini, meskipun variasi 1st dan 4th menggunakan binder Polyurethane dan pengemulsi Triethylamine. Secara umum, media elektrolit LiCl membuat arus dalam proses oksidasi dan reduksi lebih besar dari Li₂SO₄. Hal ini menunjukkan kemampuan LiCl untuk menjadi media yang lebih baik untuk mengakomodasi pergerakan ion lithium. LiCl dan

Li_2SO_4 adalah elektrolit tipe garam yang lebih stabil untuk meningkatkan pH dibandingkan elektrolit asam atau basa lainnya (Lamb & Burheim, 2021). Ketika ion lithium bergerak sebagai proses energi kimia, pH akan rendah (asam) (Paul et al., 2022). Kondisi ini membuat aki mudah teroksidasi sehingga menyebabkan kebocoran.

Analisis Daya dan Energi

Dua aspek umum yang terlihat untuk menilai kinerja baterai lithium-ion adalah daya dan energi yang dihasilkan dari penggunaan awal hingga kebutuhan pengisian ulang (Lemian & Bode, 2022). Hasil pengukuran daya dan energi dari baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air pada penelitian saat ini disajikan pada Tabel 1. Nilai daya dan energi tertinggi ditemukan pada variasi ke-1 menggunakan media elektrolit LiCl, binder Poliuretan, dan Triethylamine. emulsi dengan nilai daya 5,404 W dan nilai energi 4,511 W.h. Sementara itu, nilai daya dan energi terendah ditemukan pada variasi ke-4 menggunakan media elektrolit Li_2SO_4 , binder Polyacrylate, dan pengemulsi Triethylamine. Meskipun variasi ¹st dan variasi⁴th keduanya menggunakan Triethylamine sebagai pengemulsi, perbedaan antara media elektrolit dan binder membawa perbedaan yang relatif signifikan dengan perbedaan 2.626 W untuk daya dan 2.842 untuk energi.

Tabel 1.5. Hasil pengukuran daya dan energi

Jenis Sampel	Daya (W)	Energi (W.h)
Run 1	5.404	4.511
Run 2	3.356	2.387
Run 3	4.582	3.812
Run 4	2.778	1.669
Run 5	3.269	2.343
Run 6	3.847	2.691
Run 7	4.020	2.793
Run 8	4.915	3.564

Fungsi binder dalam pembuatan baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air adalah untuk mengikat bahan penyusun baterai, yaitu katoda dan anoda. Sifat binder umumnya lengket dan memiliki bau yang menyengat, tetapi ketika kering itu fleksibel

seperti karet (Caputo et al., 2020; Boh Podgornik dkk., 2021; Kota et al., 2022). Pilihan binder didasarkan pada sifat konduktivitas termalnya saja sehingga tidak mengurangi kandungan listrik yang dihasilkan oleh baterai (Lippke et al., 2022), oleh karena itu Polyurethane dan Polyacrylate telah dipertimbangkan untuk penelitian saat ini sebagai dua opsi binder termudah yang tersedia (Norjeli et al., 2022) dengan nilai konduktivitas termal yang baik dibandingkan dengan opsi lain di pasaran (Yuca et al., 2022), yang memiliki nilai konduktivitas termal 0,226 W/m.K untuk Poliuretan (Tsai et al., 2018) dan 0,199 W/m.K untuk Poliakrilat (Wang et al., 2014). Dengan nilai konduktivitas termal Polyurethane yang lebih tinggi dibandingkan dengan Polyacrylate, penggunaan binder dengan Polyurethane berpotensi menghasilkan Daya dan Energi yang lebih tinggi daripada penggunaan binder Polyacrylate. Ini konsisten seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1 dalam variasi 1st dan 3rd. Dengan menggunakan media elektrolit LiCl dan pengemulsi Triethylamine, Daya dan Energi dalam variasi 1st menggunakan binder Polyurethane lebih tinggi daripada variasi ke-3 menggunakan binder Polyacrylate.

Selain itu, baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air juga diberikan dua perlakuan berbeda dengan variasi 1st hingga 4th diberi emulsifier Triethylamine dan variasi 5th hingga 8th tidak diberi emulsi. Penambahan emulsifier pada aki berguna untuk menjaga kestabilan campuran pada katoda dan anoda sehingga setiap bagian dapat tercampur dengan baik. Secara teori, penggunaan pengemulsi Triethylamine dapat meningkatkan daya dan energi yang dihasilkan oleh baterai. Triethylamine memiliki peran sebagai penyeimbang pH (Weshahy et al., 2022). Ketika digunakan sebagai pengemulsi, dapat membuat baterai kurang asam karena reaksi kimia yang terjadi untuk menghasilkan energi dalam baterai. Selain itu, Triethylamine memiliki kandungan nitrogen inert sehingga tidak mudah bereaksi dengan oksigen dan terjadi oksidasi (Zhang et al., 2022).

Hasil Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Sebagai studi lanjutan dari Ingried et al (Ingried et al., 2022), penelitian saat ini berupaya menemukan kombinasi variabel yang optimal untuk memaksimalkan potensi terbaik baterai lithium-ion berbasis karbon dari kangkung air dengan mampu menghasilkan daya dan energi yang lebih tinggi

daripada penelitian sebelumnya. Hasil pengukuran daya dan energi dari penelitian saat ini telah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Ingried et al (Ingried et al., 2022) yang disajikan pada

Tabel 4.6. Secara keseluruhan, hasil penelitian saat ini mampu menghasilkan daya dan energi yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya. Ada beberapa penjelasan bahwa hal ini dapat dicapai karena variabel konfigurasi yang berbeda untuk membuat baterai lithium-ion berbasis karbon dari kantung air. Pertama dari segi konsentrasi elektrolit, penelitian saat ini menggunakan konsentrasi elektrolit 50% lebih tinggi dari penelitian selanjutnya yang hanya 10%, 20%, dan 40% (Ingried et al., 2022). Selanjutnya, bentuk media elektrolit dari penelitian saat ini berfokus pada cairan yang telah dibuktikan dari penelitian sebelumnya menghasilkan daya dan energi yang lebih tinggi daripada gel (Ingried et al., 2022). Selanjutnya, penelitian saat ini menggunakan emulsifier berupa Triethylamine yang memiliki berbagai dampak positif untuk meningkatkan kinerja baterai secara keseluruhan (L. Liu et al., 2021) dan pemanfaatan yang lebih aman (Wu et al., 2022) dibandingkan dengan non-emulsifier. Dan terakhir, Jenis baterai dalam penelitian saat ini adalah baterai kantong, sedangkan pada penelitian sebelumnya adalah baterai kancing.

Tabel 4.6. Hasil perbandingan dengan penelitian sebelumnya dari Ingried et al (Ingried et al., 2022)

Hasil Penelitian Budi Santoso et. al (2022)

No.	Konsentrasi elektrolit	Media elektrolit	Binder	Emulsi	Daya (W)	Eenergi (W.h)	
1	50%	LiCl (Liquid)	Polyurethane	Triethylamine	5.404	4.511	
2		Li ₂ SO ₄ (Liquid)			3.356	2.387	
3		LiCl (Liquid)	Polyacrylate		4.582	3.812	
4		Li ₂ SO ₄ (Liquid)			2.778	1.669	
5		LiCl (Liquid)	Polyurethane		Non-emulsifier	3.269	2.343
6		Li ₂ SO ₄ (Liquid)				3.847	2.691
7		LiCl (Liquid)	Polyacrylate			4.020	2.793
8		Li ₂ SO ₄ (Liquid)				4.915	3.564

Hasil Penelitian Ingried et. al (2022)

No.	Konsentrasi elektrolit	Media elektrolit	Binder	Emulsi	Daya (W)	Eenergi (W.h)
1	10%	LiCl (Gel)	Polyurethane	Non-emulsifier	1.38×10^{-5}	4.67×10^{-7}
2	20%				1.16×10^{-4}	3.91×10^{-6}
3	40%				2.75×10^{-2}	9.30×10^{-4}
4	10%	LiCl (Liquid)			3.85×10^{-2}	1.30×10^{-3}
5	20%				1.43×10^{-1}	4.83×10^{-3}
6	40%				1.41×10^{-3}	4.77×10^{-5}

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Karbon ukuran 200 mesh menghasilkan karbon berpori dengan ukuran 5 um dilihat dari analisa SEM, dan menghasilkan struktur grafit dilihat dari analisa FTIR, mempunyai gugus rangkap dilihat dari analisa XRD dengan jumlah karbon sebanyak 79,45%
2. Baterai dengan media elektrolit LiCl dengan konsentrasi 50%, binder Poliuretan, dan emulsi Triethylamine menghasilkan daya dan energi tertinggi dengan daya 5,404 W dan energi 4,511 W.h.

5.2. Saran

Disarankan menggunakan Alat Vacuum Pressing dan Stamping Baterai agar baterai tidak mudah mengalami kebocoran dan oksidasi

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Aziz, N. I. H., Mohd Hanafiah, M., Halim, N. H., and Fidri, P. A. S. 2020. Phytoremediation of TSS, NH₃-N and COD from Sewage Wastewater by *Lemna minor* L., *Salvinia minima*, *Ipomea aquatica* and *Centella asiatica*. *Applied Sciences*, 10: 5397.
2. Al-Saadi, M., Olmos, J., Saez-de-Ibarra, A., Van Mierlo, J., and Berecibar, M. 2022. Fast Charging Impact on the Lithium-Ion Batteries' Lifetime and Cost-Effective Battery Sizing in Heavy-Duty Electric Vehicles Applications. *Energies*, 15: 1278.
3. Balasingam, B., Ahmed, M., and Pattipati, K. 2020. Battery Management Systems—Challenges and Some Solutions. *Energies*, 13: 2825.
4. Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P., and Zaghbi, K. 2020. Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12: 5837.
5. Boh Podgornik, B., Šandrić, S., and Kert, M. 2021. Microencapsulation for Functional Textile Coatings with Emphasis on Biodegradability—A Systematic Review. *Coatings*, 11: 1371.
6. Brückner, L., Frank, J., and Elwert, T. 2020. Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries—A Critical Review of Metallurgical Process Routes. *Metals*, 10: 1107.
7. Caputo, P., Abe, A. A., Loise, V., Porto, M., Calandra, P., Angelico, R., and Oliviero Rossi, C. 2020. The Role of Additives in Warm Mix Asphalt Technology: An Insight into Their Mechanisms of Improving an Emerging Technology. *Nanomaterials*, 10: 1202.
8. Cholewinski, A., Si, P., Uceda, M., Pope, M., and Zhao, B. 2021. Polymer Binders: Characterization and Development toward Aqueous Electrode Fabrication for Sustainability. *Polymers*, 13: 631.
9. Chung, H.-Y., Pan, G.-T., Hong, Z.-Y., Hsu, C.-T., Chong, S., Yang, T. C.-K., and Huang, C.-M. 2020. Biomass-Derived Porous Carbons Derived from Soybean Residues for High Performance Solid State Supercapacitors. *Molecules*, 25: 4050.
10. Cui, Y., Chen, X., Wang, Y., Peng, J., Zhao, L., Du, J., and Zhai, M. 2019. Amphoteric Ion Exchange Membranes Prepared by Preirradiation-Induced Emulsion Graft Copolymerization for Vanadium Redox Flow Battery. *Polymers*, 11: 1482.
11. Doose, S., Mayer, J. K., Michalowski, P., and Kwade, A. 2021. Challenges in Ecofriendly Battery Recycling and Closed Material Cycles: A Perspective on Future Lithium Battery Generations. *Metals*, 11: 291.
12. Fitz, O., Ingenhoven, S., Bischoff, C., Gentischer, H., Birke, K. P., Saracsan, D., and Biro, D. 2021. Comparison of Aqueous- and Non-Aqueous-Based Binder Polymers and the Mixing Ratios for Zn/MnO₂ Batteries with Mildly Acidic Aqueous Electrolytes. *Batteries*, 7: 40.
13. Gabbar, H., Othman, A., and Abdussami, M. 2021. Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards. *Technologies*, 9: 28.

14. Hamza, M. F., Wei, Y., Althumayri, K., Fouda, A., and Hamad, N. A. 2022. Synthesis and Characterization of Functionalized Chitosan Nanoparticles with Pyrimidine Derivative for Enhancing Ion Sorption and Application for Removal of Contaminants. *Materials*, 15: 4676.
15. Hosseinzadeh, E., Marco, J., and Jennings, P. 2017. Electrochemical-Thermal Modelling and Optimisation of Lithium-Ion Battery Design Parameters Using Analysis of Variance. *Energies*, 10: 1278.
16. Ingrid, V. F., Haryati, S., and Syarif, N. 2022. Hydrothermal LiTiO₂ Cathode and Polyurethane Binder of High Current Lithium Ion Batteries. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12: 1032.
17. Jankowiak, C., Zacharopoulos, A., Brandoni, C., Keatley, P., MacArtain, P., and Hewitt, N. 2019. The Role of Domestic Integrated Battery Energy Storage Systems for Electricity Network Performance Enhancement. *Energies*, 12: 3954.
18. Kaliaperumal, M., Dharanendrakumar, M. S., Prasanna, S., Abhishek, K. V., Chidambaram, R. K., Adams, S., Zaghbi, K., and Reddy, M. V. 2021. Cause and Mitigation of Lithium-Ion Battery Failure—A Review. *Materials*, 14: 5676.
19. Kigozi, M., Kali, R., Bello, A., Padya, B., Kalu-Uka, G. M., Wasswa, J., Jain, P. K., Onwualu, P. A., and Dzade, N. Y. 2020. Modified Activation Process for Supercapacitor Electrode Materials from African Maize Cob. *Materials*, 13: 5412.
20. Kim, H.-J., Krishna, T., Zeb, K., Rajangam, V., Gopi, C. V. V. M., Sambasivam, S., Raghavendra, K. V. G., and Obaidat, I. M. 2020. A Comprehensive Review of Li-Ion Battery Materials and Their Recycling Techniques. *Electronics*, 9: 1161.
21. Kota, A., Kum, L. W., Vallurupalli, K., Gogia, A., Neidhard-Doll, A. T., and Chodavarapu, V. P. 2022. Highly Flexible Stencil Printed Alkaline Ag₂O-Zn Battery for Wearable Electronics. *Batteries*, 8: 74.
22. Kuganathan, N. 2022. DFT Modelling of Li₆SiO₄Cl₂ Electrolyte Material for Li-Ion Batteries. *Batteries*, 8: 137.
23. Lamb, J. J., and Burheim, O. S. 2021. Lithium-Ion Capacitors: A Review of Design and Active Materials. *Energies*, 14: 979.
24. Lang, J., Liu, K., Jin, Y., Long, Y., Qi, L., Wu, H., and Cui, Y. 2020. A molten battery consisting of Li metal anode, AlCl₃-LiCl cathode and solid electrolyte. *Energy Storage Materials*, 24: 412–416.
25. Lee, K.-C., Lim, M. S. W., Hong, Z.-Y., Chong, S., Tiong, T. J., Pan, G.-T., and Huang, C.-M. 2021. Coconut Shell-Derived Activated Carbon for High-Performance Solid-State Supercapacitors. *Energies*, 14: 4546.
26. Lemian, D., and Bode, F. 2022. Battery-Supercapacitor Energy Storage Systems for Electrical Vehicles: A Review. *Energies*, 15: 5683.
27. Li, D., Yang, D., Li, L., Wang, L., and Wang, K. 2022. Electrochemical Impedance Spectroscopy Based on the State of Health Estimation for Lithium-Ion Batteries. *Energies*, 15: 6665.
28. Liang, J.-Y., Lee, Y.-L., Mao, S.-W., and Tsai, M.-D. 2021. Design of an Integrated Heat Dissipation Mechanism for a Quad Transmit Receive Module of Array Radar. *Applied Sciences*, 11: 7054.

29. Lin, X., Xu, Y., Wu, J., and Huang, J. 2022. Bio-inspired hierarchical nanoporous carbon derived from water spinach for high-performance supercapacitor electrode materials. *Nanoscale Advances*, 4: 1445–1454.
30. Lippke, M., Meister, J., Schilde, C., and Kwade, A. 2022. Preheating of Lithium-Ion Battery Electrodes as Basis for Heated Calendaring—A Numerical Approach. *Processes*, 10: 1667.
31. Liu, J., Li, P., Li, F., Liu, Z., Xu, X., and Liu, J. 2022. Galvanic Replacement Preparation of Spindle-Structured Sb@C@NC as Anode for Superior Lithium-Ion Storage. *Batteries*, 8: 245.
32. Liu, L., Niu, J., and Wu, J.-Y. 2021. Preparation of Stable Phase Change Material Emulsions for Thermal Energy Storage and Thermal Management Applications: A Review. *Materials*, 15: 121.
33. Ma, T., Liu, L., Zhou, W., Chen, L., and Christie, P. 2019. Effects of Phthalate Esters on *Ipomoea aquatica* Forsk. Seedlings and the Soil Microbial Community Structure under Different Soil Conditions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16: 3489.
34. Mevawalla, A., Panchal, S., Tran, M.-K., Fowler, M., and Fraser, R. 2020. Mathematical Heat Transfer Modeling and Experimental Validation of Lithium-Ion Battery Considering: Tab and Surface Temperature, Separator, Electrolyte Resistance, Anode-Cathode Irreversible and Reversible Heat. *Batteries*, 6: 61.
35. Mo, C., Zhang, G., Yang, X., Wu, X., and Li, X. 2022. A Battery Thermal Management System Coupling High-Stable Phase Change Material Module with Internal Liquid Cooling. *Energies*, 15: 5863.
36. Nazhipkyzy, M., Maltay, A. B., Askaruly, K., Assylkhanova, D. D., Seitkazinova, A. R., and Mansurov, Z. A. 2022. Biomass-Derived Porous Carbon Materials for Li-Ion Battery. *Nanomaterials*, 12: 3710.
37. Nazhipkyzy, M., Yeleuov, M., Sultakhan, S. T., Maltay, A. B., Zhaparova, A. A., Assylkhanova, D. D., and Nemkayeva, R. R. 2022. Electrochemical Performance of Chemically Activated Carbons from Sawdust as Supercapacitor Electrodes. *Nanomaterials*, 12: 3391.
38. Norjeli, M. F., Tamchek, N., Osman, Z., Mohd Noor, I. S., Kufian, M. Z., and Ghazali, M. I. B. M. 2022. Additive Manufacturing Polyurethane Acrylate via Stereolithography for 3D Structure Polymer Electrolyte Application. *Gels*, 8: 589.
39. Park, J., Yoo, D., Moon, J., Yoon, J., Park, J., Lee, S., Lee, D., and Kim, C. 2021. Reliability-Based Robust Design Optimization of Lithium-Ion Battery Cells for Maximizing the Energy Density by Increasing Reliability and Robustness. *Energies*, 14: 6236.
40. Paul, S., Rahman, M. A., Sharif, S. Bin, Kim, J.-H., Siddiqui, S.-E.-T., and Hossain, M. A. M. 2022. TiO₂ as an Anode of High-Performance Lithium-Ion Batteries: A Comprehensive Review towards Practical Application. *Nanomaterials*, 12: 2034.
41. Peters, J., Peña Cruz, A., and Weil, M. 2019. Exploring the Economic Potential of Sodium-Ion Batteries. *Batteries*, 5: 10.
42. Pięłowska, M., Kurc, B., Galiński, M., Fuć, P., Kamińska, M., Szymlet, N., and Daszkiewicz, P. 2021. Challenges for Safe Electrolytes Applied in Lithium-Ion Cells—A Review. *Materials*, 14: 6783.

43. Quintal, F. 2022. Energy Monitoring Technologies. *Energies*, 15: 5820.
44. Reddy, M. V., Mauger, A., Julien, C. M., Paolella, A., and Zaghbi, K. 2020. Brief History of Early Lithium-Battery Development. *Materials*, 13: 1884.
45. Samieian, M. A., Hales, A., and Patel, Y. 2022. A Novel Experimental Technique for Use in Fast Parameterisation of Equivalent Circuit Models for Lithium-Ion Batteries. *Batteries*, 8: 125.
46. She, Y., Tang, B., Li, D., Tang, X., Qiu, J., Shang, Z., and Hu, W. 2018. Mixed Nickel-Cobalt-Molybdenum Metal Oxide Nanosheet Arrays for Hybrid Supercapacitor Applications. *Coatings*, 8: 340.
47. Tao, J., Wang, J., Zheng, X., Jia, A., Zou, M., Zhang, J., and Tao, X. 2022. Effects of Tetracycline and Copper on Water Spinach Growth and Soil Bacterial Community. *Processes*, 10: 1135.
48. Tran, M.-K., Cunanan, C., Panchal, S., Fraser, R., and Fowler, M. 2021. Investigation of Individual Cells Replacement Concept in Lithium-Ion Battery Packs with Analysis on Economic Feasibility and Pack Design Requirements. *Processes*, 9: 2263.
49. Tsai, P.-Y., Chen, T.-E., and Lee, Y.-L. 2018. Development and Characterization of Anticorrosion and Antifriction Properties for High Performance Polyurethane/Graphene Composite Coatings. *Coatings*, 8: 250.
50. Uddin, M. M., Zakeel, M. C. M., Zavaahir, J. S., Marikar, F. M. M. T., and Jahan, I. 2021. Heavy Metal Accumulation in Rice and Aquatic Plants Used as Human Food: A General Review. *Toxics*, 9: 360.
51. Vieceli, N., Reinhardt, N., Ekberg, C., and Petranikova, M. 2020. Optimization of Manganese Recovery from a Solution Based on Lithium-Ion Batteries by Solvent Extraction with D2EHPA. *Metals*, 11: 54.
52. Viruega Sevilla, D., Francisco López, A., and Bello Bugallo, P. 2022. The Role of a Hazardous Waste Intermediate Management Plant in the Circularity of Products. *Sustainability*, 14: 1241.
53. Volkov, F. S., Eliseeva, S. N., Kamenskii, M. A., Volkov, A. I., Tolstopjatova, E. G., Glumov, O. V., Fu, L., and Kondratiev, V. V. 2022. Vanadium Oxide-Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Nanocomposite as High-Performance Cathode for Aqueous Zn-Ion Batteries: The Structural and Electrochemical Characterization. *Nanomaterials*, 12: 3896.
54. Vongdala, N., Tran, H.-D., Xuan, T., Teschke, R., and Khanh, T. 2018. Heavy Metal Accumulation in Water, Soil, and Plants of Municipal Solid Waste Landfill in Vientiane, Laos. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16: 22.
55. Wang, S., Cheng, Y., Wang, R., Sun, J., and Gao, L. 2014. Highly Thermal Conductive Copper Nanowire Composites with Ultralow Loading: Toward Applications as Thermal Interface Materials. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6: 6481–6486.

56. Weshahy, A. R., Sakr, A. K., Gouda, A. A., Atia, B. M., Somaily, H. H., Hanfi, M. Y., Sayyed, M. I., El Sheikh, R., El-Sheikh, E. M., Radwan, H. A., Cheira, M. F., and Gado, M. A. 2022. Selective Recovery of Cadmium, Cobalt, and Nickel from Spent Ni–Cd Batteries Using Adogen® 464 and Mesoporous Silica Derivatives. *International Journal of Molecular Sciences*, 23: 8677.
57. Wu, H., Yang, N., Tang, Y., Jiang, J.-C., and Huang, A.-C. 2022. Thermal Stability Evaluation of T152 Emulsifier on the Modification Influence of Fireworks Propellant. *Processes*, 10: 1606.
58. Yang, K., Tang, Y., and Zhang, Z. 2021. Parameter Identification and State-of-Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using Separated Time Scales and Extended Kalman Filter. *Energies*, 14: 1054.
59. Yu, C.-H., Wang, S.-L., Tongsir, P., Cheng, M.-P., and Lai, H.-Y. 2018. Effects of Poultry-Litter Biochar on Soil Properties and Growth of Water Spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.). *Sustainability*, 10: 2536.
60. Yuca, N., Kalafat, I., Guney, E., Cetin, B., and Taskin, O. S. 2022. Self-Healing Systems in Silicon Anodes for Li-Ion Batteries. *Materials*, 15: 2392.
61. Zaheer, I. E., Ali, S., Saleem, M. H., Noor, I., El-Esawi, M. A., Hayat, K., Rizwan, M., Abbas, Z., El-Sheikh, M. A., Alyemeni, M. N., and Wijaya, L. 2020. Iron–Lysine Mediated Alleviation of Chromium Toxicity in Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Plants in Relation to Morpho-Physiological Traits and Iron Uptake When Irrigated with Tannery Wastewater. *Sustainability*, 12: 6690.
62. Zhang, H., Guo, Y., and Meng, F. 2022. Metal Oxide Semiconductor Sensors for Triethylamine Detection: Sensing Performance and Improvements. *Chemosensors*, 10: 231.
63. Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A. I., Collis, G. E., Mahon, P. J., Rüther, T., and Hollenkamp, A. F. 2021. A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling. *Sustainable Chemistry*, 2: 167–205.
64. Zhou, W., Lu, Q., and Zheng, Y. 2022. Review on the Selection of Health Indicator for Lithium Ion Batteries. *Machines*, 10: 512.
65. Arini Sucia, Sri Haryati, Nirwan Syarif, 2022, Performance Analysis Of Livo3-Ion Battery With Carbon (*Ipomoea Aquatica*) As Anodes Austenit Vol. 14 No.1, April 2022 Issn : 2085-1286 E-Issn : 2622-7649
66. Arora and Zhengming. (2004). Battery Separators.. *Chemical Reviews*. Vol. 104, No.10.
67. Arora, Yukti. (2015). Lithium-Ion Battery Systems: A Process flow and Systems Framework Designed for Use in The Development of a Lifecycle Energy Model. Tesis Georgia Institute of Technology.
68. Bonaccorso, F., Sun, Z., Hasan, T., and Ferrari, A.C. (2010). Graphene photonics and optoelectronics. *Nat. Photonics* 4, 611–622.
69. Brownson. (2013). Graphene Electrochemistry : Fundamentals Through to Electroanalytical Applications. Thesi Manchester Metropolitan University.

70. Carvalho DV, Loeffler N, Kim GT, Passerini S .(2015). High Temperature Stable Separator for Lithium Batteries Based on SiO₂ and Hydroxypropyl Guar Gum. *Membranes*. pp. 5-633.
71. Celia Hernández-Rentero, et. al , 2020, Alternative lithium-ion battery using biomass-derived carbons as environmentally sustainable anode, *Journal of Colloid and Interface Science* 573 (2020) 396–408
72. Claus Daniel and Jürgen O. Besenhard (2011) *Handbook of Battery Materials* 2nd Edition, Wiley VCH
73. Cui, K., Chiba, T., Omiya, S., Thurakitseree, T., Zhao, P., Fujii, S., Kataura, H., Einarsson, E., Chiashi, S., and Maruyama, S. (2013). Self-Assembled Microhoneycomb Network of Single-Walled Carbon Nanotubes for Solar Cells. *J. Phys. Chem. Lett.* 4, 2571–2576.
74. Currie, H.A., and Perry, C.C. (2007). Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Ann. Bot.* 100, 1383–1389.
75. Dewi, Rozanna. (2015). Cross-Linking Pati Sagu Termoplastik Biodegradable (Modified Thermoplastic Starch/TPS) Dengan Difenilmetana Diisosianat (MDI) Dan Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. Vol.4, No.1.
76. Endah Dhita Pratiwi, Haryati S, Nirwan Syarief, 2022 , Pengaruh Variasi Binder, Elektrolit dan Pemakaian Emulsi terhadap Kinerja Baterai Litium Ion Berbasis Karbon Batang Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia* ISSN: 25410849
77. Endo, M., Kim, Y.A., Takeda, T., Hong, S.H., Matusita, T., Hayashi, T., and Dresselhaus, M.S. (2001). Structural characterization of carbon nanofibers obtained by hydrocarbon pyrolysis. *Carbon* 39, 2003–2010.
78. Escobar-Alarcón, L., Arrieta, A., Camps, E., and Romero, S. (2005). Infrared and Raman characterization of amorphous carbon nitride thin films prepared by laser ablation. *Superf. Vacío* 18, 9–12.
79. Fachrurozi M, Utami LB, dan Suryani D. (2010). Pengaruh Variasi Biomassa Kiapu. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Jurnal Kesmas*. Vol. 4, No. 1. Hlm 1–16.
80. Fang, M.-D., Ho, T.-H., Yen, J.-P., Lin, Y.-R., Hong, J.-L., Wu, S.-H., and Jow, J.-J. (2015). Preparation of Advanced Carbon Anode Materials from Mesocarbon Microbeads for Use in High C-Rate Lithium Ion Batteries. *Materials* 8, 3550–3561.
81. Gu, W., and Yushin, G. (2014). Review of nanostructured carbon materials for electrochemical capacitor applications: advantages and limitations of activated carbon, carbide-derived carbon, zeolite-templated carbon, carbon aerogels, carbon nanotubes, onion-like carbon, and graphene: Nanostructured carbon materials for

- electrochemical capacitor applications. *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* 3, 424–473.
82. Hapsari, Amri, dan Suyanto. (2018). Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Sebagai Fitoremediasi Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. Vol. 13, No.1
 83. Haryati Sri (2018) Application of Water lettuce (*Pistia S.*)as Conductive Carbon in Electrochemical Capacitor *Chemical Engineering Transactions* , ISBN978-88-95-608-61-7;ISSN2283-9216/vol63,499-504
 84. Haryati Sri, Samantha F, , Syarif Nirwan (2022) Pengujian Kinerja Baterai Lithium Ion Berbasis Batang Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Ditinjau Dari Variasi Binder, Jenis Elektrolit Dan Pemakaian Emulsi, *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia* p–ISSN: 2541-0849
 85. Haryati Sri, Samantha F, , Syarif Nirwan (2022) Pengujian Kinerja Baterai Lithium Ion Berbasis Batang Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Ditinjau Dari Variasi Binder, Jenis Elektrolit Dan Pemakaian Emulsi, *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia* p–ISSN: 2541-0849
 86. Haryati, Sri, Syarif N, 2021, Gelam Tree Derived Carbon Nanosheets as Thick and Free-standing Electrode for Supercapacitor, *Chemical Engineering Transactions* Vol83. 553-558,2021
 87. Haryati, Sri, Syarif N, 2021, Performance Carbon Nanosheet electrode in Supercapacitor *Chemical Engineering Transactions* Vol83. Vol.83(547-552).2021
 88. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2019). The Performance of Symmetrical and Asymmetrical Supercapacitor of Aquatic Biomass Carbon Nanosheet CET 88, 1-6.
 89. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2019). The Performance of Symmetrical and Asymmetrical Supercapacitor of Aquatic Biomass Carbon Nanosheet CET 88, 1-6.
 90. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2020). Performance of Carbon Nanosheet Electrode from Aquatic Wood Waste in Supercapacitor *Chemical Engineering Transactions*
 91. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2020). Performance of Carbon Nanosheet Electrode from Aquatic Wood Waste in Supercapacitor *Chemical Engineering Transactions*
 92. HI Kiani, Mousavi MF, dan Rahmanifar MS. (2011). Synthesis of Nano-and Micro-Particles of LiMn_2O_4 : Electrochemical Investigation and Assessment as a Cathode in Li Battery. *Int. J. Electrochem.*

93. Hu, B., Wang, K., Wu, L., Yu, S.-H., Antonietti, M., and Titirici, M.-M. (2010). Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Adv. Mater.* 22, 813–828.
94. Hu, B., Wang, K., Wu, L., Yu, S.-H., Antonietti, M., and Titirici, M.-M. (2010). Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Adv. Mater.* 22, 813–828.
95. Hui Cheng, et. al , 2020, Recent progress of advanced anode materials of lithium-ion batteries, *Journal of Energy Chemistry*
96. Hwang J-Y, Rifki A M et.al, (2020), Investigation of K-ion storage performances in a bismuth sulfide-carbon nanotube composite anode, *RSC Adv.*, 2020, 10, 6536 DOI: 10.1039/d0ra00374c rsc.li/rsc-advances
97. Julien Christian M, 2014. Comparative Issues of Cathode Materials for Li-Ion Batteries. *Inorganics* 2, pp. 132-154.
98. Kasvayee KA. (2011). Synthesis of Li-ion battery cathode materials via freeze granulation. Thesis Chalmers University of Technology.
99. Lagashetty A, Havanoor V, Basavaraja S dan Venkataraman A. (2007). Combusion Synthesis of LiMn₂O₄ by Thermal Decomposition of Ocalate Precursors. *Indian Journal of Chemical Technolgy*. Vol. 15. pp. 41-44.
100. Li, J., Wang, X., Huang, Q., Gamboa, S., and Sebastian, P.J. (2006). Studies on preparation and performances of carbon aerogel electrodes for the application of supercapacitor. *J. Power Sources* 158, 784–788.
101. Li, Y., Zhang, Q., Zhang, J., Jin, L., Zhao, X., and Xu, T. (2015). A top-down approach for fabricating free-standing bio-carbon supercapacitor electrodes with a hierarchial structure. *Sci. Rep.* 5.
102. Linden, David. (2004). *Handbook of Batteries*. Digital Library. McGraw-Hill: The McGraw-Hill Companies.
103. Lisowska-Oleksiak, A., Nowak, A.P., and Wicikowska, B. (2014). Aquatic biomass containing porous silica as an anode for lithium ion batteries. *RSC Adv* 4, 40439–40443.
104. Lisowska-Oleksiak, A., Nowak, A.P., and Wicikowska, B. (2014). Aquatic biomass containing porous silica as an anode for lithium ion batteries. *RSC Adv* 4, 40439–40443
105. Martin Winter and Ralph J Brodd. (2004). What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors ? . *Chem. Rev.* 104.
106. Mikolajczak C, Kahn and M,White K, Long RT. (2011). Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. *The Fire Protection Research Fondation*. pp. 26.

107. Münzer, A.M., Michael, Z.P., and Star, A. (2013). Carbon Nanotubes for the Label-Free Detection of Biomarkers. *ACS Nano* 7, 7448–7453.
108. Münzer, A.M., Michael, Z.P., and Star, A. (2013). Carbon Nanotubes for the Label-Free Detection of Biomarkers. *ACS Nano* 7, 7448–7453.
109. Natalina. (2013). Penggunaan enceng gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms) dan kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forsk) dalam perbaikan kualitas air limbah industri tahu. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi V Satek dan Indonesia Hijau (Satek Unila)*, pp: 980-988, ISBN : 978-979- 8510-71-7.
110. Oswal M, Paul J, and Zhao R. (2010). A Comparative Study of Lithium-Ion batteries. University of Southern California. pp. 2.
111. Oystein. (2012). Thermal characterisation of anode materials for Li-ion batteries. Norway: Norwegian University of Science and Technology.
112. Paravasthu, R. (2012). Synthesis and Characterization of Lithium-Ion Cathode Materials in The System $(1-x-y) \text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_{2.x}\text{Li}_2\text{MnO}_3.y\text{LiCoO}_2$. Colorado: Department of Mechanical Engineering Colorado State University.
113. Park M, Zhang XC, and Chang M.,(2010). A Review of Conduction Phenomena in Li-Ion Batteries. *Journal Power of Source*. Vol. 10.
114. Park M, Zhang XC, and Chang M.(2010). A Review of Conduction Phenomena in Li-Ion Batteries. *Journal Power of Source*. Vol. 10
115. Paulo, S., Palomares, E., and Martinez-Ferrero, E. (2016). Graphene and Carbon Quantum Dot-Based Materials in Photovoltaic Devices: From Synthesis to Applications. *Nanomaterials* 6, 157.
116. Paulo, S., Palomares, E., and Martinez-Ferrero, E. (2016). Graphene and Carbon Quantum Dot-Based Materials in Photovoltaic Devices: From Synthesis to Applications. *Nanomaterials* 6, 157.
117. Philippe, B. (2013). Insights in Li-ion Battery Interfaces through Photoelectron Spectroscopy Depth Profiling. *Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*. pp. 1041. 200.
118. Poizot, P., Laruelle, S., and Grugeon S. (2001). Searching for New Anode Materials for the Li-ion Technology: Time to Deviate From the usual Path. *Journal of Power Sources*. pp. 235-239.

119. Pralong, Valerie. (2012). Lithium-Rich Rock-Salt-Type Vanadate as Energy Storage Cathode: $\text{Li}_{2-x}\text{VO}_3$. *American Chemical Society*. pp.12–14
120. Priyono, Slamet. (2013). Sintesis Serbuk $\text{LiTi}_5\text{O}_{12}$ yang Didoping Atom Al dan Na untuk Anoda Baterai Ion Lithium. Disertasi Universitas Indonesia.
121. Rajawat, D.S., Srivastava, S., dan Satsangee, S.P. (2012). Electrochemical Determation Of Mercury At Trace Levels Using Eichhornia Crassipes.
122. Rizal Fauzuddin Noor Ramdhani dkk (2020), Perancangan *Vessel* Reaktor Hidrotermal Skala Komunal untuk Mengolah Sampah Kota Tidak Daur Ulang
123. Rosita, Enny, Winny R.M., dan Andi Z. (2013). Efektivitas Fitoremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) terhadap Penyerapan Orthopospat Pada Detergen Ditinjau Dari Detensi Waktu dan Konsentrasi Orthopospat. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 4, No. 1.
124. Ryu, J., Suh, Y.-W., Suh, D.J., and Ahn, D.J. (2010). Hydrothermal preparation of carbon microspheres from mono-saccharides and phenolic compounds. *Carbon* 48, 1990–1998.
125. Ryu, J., Suh, Y.-W., Suh, D.J., and Ahn, D.J. (2010). Hydrothermal preparation of carbon microspheres from mono-saccharides and phenolic compounds. *Carbon* 48, 1990–1998.
126. Sun, X., and Li, Y. (2004). Colloidal Carbon Spheres and Their Core/Shell Structures with Noble-Metal Nanoparticles. *Angew. Chem. Int. Ed.* 43, 597–601.
127. Syarif N, Haryati, Sri, 2020, Preparing of carbon nanodots from binchotan carbon by Electrochemical Sonification and Dialisis, IOP Conference series, Materials Science and Engineering. Vol 796,6 april 2020
128. Syarif N, Haryati, Sri, 2020, Study of Microwaves energy Conversion into electric current on semiconductor material Nav Gelam tree derived carbon nanosheet IOP Conference Series ,Materials Science and Engineering
129. Syarif, N., and Pardede, M.C. (2014). Hydrothermal Assisted Microwave Pyrolysis of Water Hyacinth for Electrochemical Capacitors Electrodes. *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl.* 5, 95–101.
130. Syarif, N., and Pardede, M.C. (2014). Hydrothermal Assisted Microwave Pyrolysis of Water Hyacinth for Electrochemical Capacitors Electrodes. *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl.* 5, 95–101.
131. Syarif, N., Haryati, S., Muharran, R., Rinaldo, O., Tin, Wong, WY., and Sudarsono, W. (2019). Developing Thick Layer Electrode from Gelam Wood Bark Carbon Nanosheet. *CET.* 73, 1 - 6.

132. Syarif, N., Haryati, S., Muharran, R., Rinaldo, O., Tin, Wong, WY., and Sudarsono, W. (2019). Developing Thick Layer Electrode from Gelam Wood Bark Carbon Nanosheet. *CET*. 73, 1 – 6
133. Vega Fresamitia Ingried, Haryati Sri, Nirwan Syarief, 2022, Hydrothermal LiTiO₂ Cathode and Polyurethane Binder of High Current Lithium Ion Batteries,
134. Wang, Y., and Hu, A. (2014). Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications. *J Mater Chem C* 2, 6921–6939.
135. Wijaya A. S Dkk, 2020, Prototipe Reaktor Hidrotermal Pengolahan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat, *Prosiding Seminar Mahasiswa Teknik Kimia Politeknik Sriwijaya*
136. Wu, K., Gao, B., Su, J., Peng, X., Zhang, X., Fu, J., Peng, S., and Chu, P.K. (2016). Large and porous carbon sheets derived from water hyacinth for high-performance supercapacitors. *RSC Adv* 6, 29996–30003.
137. Wu, K., Gao, B., Su, J., Peng, X., Zhang, X., Fu, J., Peng, S., and Chu, P.K. (2016). Large and porous carbon sheets derived from water hyacinth for high-performance supercapacitors. *RSC Adv* 6, 29996–30003.
138. Xiaomin Yuana, et.al, 2021, Recent advance of biomass-derived carbon as anode for sustainable potassium ion battery, *Chemical Engineering Journal* 405 (2021) 126897
139. Xinyu Lin, et.al; (2022) Bio-inspired hierarchical nanoporous carbon derived from water spinach for high-performance supercapacitor electrode materials, *Nanoscale Adv.*, 2022, 4, 1445
140. Yuzian Wu, et.al, (2022) Applications of catalysts in thermochemical conversion of biomass (pyrolysis, hydrothermal liquefaction and gasification): A critical Review
141. Yuzian Wu, et.al, (2022) Applications of catalysts in thermochemical conversion of biomass (pyrolysis, hydrothermal liquefaction and gasification): A critical Review
142. Zhang, Y., Guo, C., Ma, Z., Wu, H., and Chen, C. (2015). Inexpensive Ipomoea aquatica Biomass-Modified Carbon Black as an Active Pt-Free Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction in an Alkaline Medium. *Materials* 8, 6658–6667.
143. Zhang, Y., Guo, C., Ma, Z., Wu, H., and Chen, C. (2015). Inexpensive Ipomoea aquatica Biomass-Modified Carbon Black as an Active Pt-Free Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction in an Alkaline Medium. *Materials* 8, 6658–6667

144. Zheng, K., Fan, X., Mao, Y., Lin, J., Dai, W., Zhang, J., and Cheng, J. (2016). The well-designed hierarchical structure of *Musa basjoo* for supercapacitors. *Sci. Rep.* 6.
145. Arini Sucia, Sri Haryati, Nirwan Syarif, 2022, Performance Analysis Of Livo3-Ion Battery With Carbon (*Ipomoea Aquatica*) As Anodes Austenit Vol. 14 No.1, April 2022 Issn : 2085-1286 E-Issn : 2622-7649
146. Arora and Zhengming. (2004). Battery Separators.. *Chemical Reviews.* Vol. 104, No.10.
147. Arora, Yukti. (2015). Lithium-Ion Battery Systems: A Process flow and Systems Framework Designed for Use in The Development of a Lifecycle Energy Model. Tesis Georgia Institute of Technology.
148. Bonaccorso, F., Sun, Z., Hasan, T., and Ferrari, A.C. (2010). Graphene photonics and optoelectronics. *Nat. Photonics* 4, 611–622.
149. Brownson. (2013). Graphene Electrochemistry : Fundamentals Through to Electroanalytical Applications. Thesi Manchester Metropolitan University.
150. Carvalho DV, Loeffler N, Kim GT, Passerini S .(2015). High Temperature Stable Separator for Lithium Batteries Based on SiO₂ and Hydroxypropyl Guar Gum. *Membranes.* pp. 5-633.
151. Celia Hernández-Rentero, et. al , 2020, Alternative lithium-ion battery using biomass-derived carbons as environmentally sustainable anode, *Journal of Colloid and Interface Science* 573 (2020) 396–408
152. Claus Daniel and Jürgen O. Besenhard (2011) Handbook of Battery Materials 2nd Edition, Wiley VCH
153. Cui, K., Chiba, T., Omiya, S., Thurakitseree, T., Zhao, P., Fujii, S., Kataura, H., Einarsson, E., Chiashi, S., and Maruyama, S. (2013). Self-Assembled Microhoneycomb Network of Single-Walled Carbon Nanotubes for Solar Cells. *J. Phys. Chem. Lett.* 4, 2571–2576.
154. Currie, H.A., and Perry, C.C. (2007). Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Ann. Bot.* 100, 1383–1389.
155. Dewi, Rozanna. (2015). Cross-Linking Pati Sagu Termoplastik Biodegradable (Modified Thermoplastic Starch/TPS) Dengan Difenilmetana Diisosianat (MDI) Dan Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal.* Vol.4, No.1.
156. Endah Dhita Pratiwi, Haryati S, Nirwan Syarief, 2022 , Pengaruh Variasi Binder, Elektrolit dan Pemakaian Emulsi terhadap Kinerja Baterai Litium Ion Berbasis Karbon Batang Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia ISSN: 25410849

157. Endo, M., Kim, Y.A., Takeda, T., Hong, S.H., Matusita, T., Hayashi, T., and Dresselhaus, M.S. (2001). Structural characterization of carbon nanofibers obtained by hydrocarbon pyrolysis. *Carbon* 39, 2003–2010.
158. Escobar-Alarcón, L., Arrieta, A., Camps, E., and Romero, S. (2005). Infrared and Raman characterization of amorphous carbon nitride thin films prepared by laser ablation. *Superf. Vacío* 18, 9–12.
159. Fachrurozi M, Utami LB, dan Suryani D. (2010). Pengaruh Variasi Biomassa Kiapu. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Jurnal Kesmas*. Vol. 4, No. 1. Hlm 1–16.
160. Fang, M.-D., Ho, T.-H., Yen, J.-P., Lin, Y.-R., Hong, J.-L., Wu, S.-H., and Jow, J.-J. (2015). Preparation of Advanced Carbon Anode Materials from Mesocarbon Microbeads for Use in High C-Rate Lithium Ion Batteries. *Materials* 8, 3550–3561.
161. Gu, W., and Yushin, G. (2014). Review of nanostructured carbon materials for electrochemical capacitor applications: advantages and limitations of activated carbon, carbide-derived carbon, zeolite-templated carbon, carbon aerogels, carbon nanotubes, onion-like carbon, and graphene: Nanostructured carbon materials for electrochemical capacitor applications. *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* 3, 424–473.
162. Hapsari, Amri, dan Suyanto. (2018). Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Sebagai Fitoremediasi Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. Vol. 13, No.1
163. Haryati Sri (2018) Application of Water lettuce (*Pistia S.*) as Conductive Carbon in Electrochemical Capacitor *Chemical Engineering Transactions*, ISBN978-88-95-608-61-7; ISSN2283-9216/vol63,499-504
164. Haryati Sri, Samantha F, , Syarif Nirwan (2022) Pengujian Kinerja Baterai Lithium Ion Berbasis Batang Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Ditinjau Dari Variasi Binder, Jenis Elektrolit Dan Pemakaian Emulsi, *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia* p-ISSN: 2541-0849
165. Haryati Sri, Samantha F, , Syarif Nirwan (2022) Pengujian Kinerja Baterai Lithium Ion Berbasis Batang Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Ditinjau Dari Variasi Binder, Jenis Elektrolit Dan Pemakaian Emulsi, *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia* p-ISSN: 2541-0849
166. Haryati, Sri, Syarif N, 2021, Gelam Tree Derived Carbon Nanosheets as Thick and Free-standing Electrode for Supercapacitor, *Chemical Engineering Transactions* Vol83. 553-558,2021
167. Haryati, Sri, Syarif N, 2021, Performance Carbon Nanosheet electrode in Supercapacitor *Chemical Engineering Transactions* Vol83. Vol.83(547-552).2021

168. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2019). The Performance of Symmetrical and Asymmetrical Supercapacitor of Aquatic Biomass Carbon Nanosheet CET 88, 1-6.
169. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2019). The Performance of Symmetrical and Asymmetrical Supercapacitor of Aquatic Biomass Carbon Nanosheet CET 88, 1-6.
170. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2020). Performance of Carbon Nanosheet Electrode from Aquatic Wood Waste in Supercapacitor Chemical Engineering Transactions
171. Haryati, Sri., Syarif, N. dan Tin, LC. (2020). Performance of Carbon Nanosheet Electrode from Aquatic Wood Waste in Supercapacitor Chemical Engineering Transactions
172. HI Kiani, Mousavi MF, dan Rahmanifar MS. (2011). Synthesis of Nano-and Micro-Particles of LiMn_2O_4 : Electrochemical Investigation and Assessment as a Cathode in Li Battery. *Int. J. Electrochem.*
173. Hu, B., Wang, K., Wu, L., Yu, S.-H., Antonietti, M., and Titirici, M.-M. (2010). Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Adv. Mater.* 22, 813–828.
174. Hu, B., Wang, K., Wu, L., Yu, S.-H., Antonietti, M., and Titirici, M.-M. (2010). Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Adv. Mater.* 22, 813–828.
175. Hui Cheng, et. al , 2020, Recent progress of advanced anode materials of lithium-ion batteries, *Journal of Energy Chemistry*
176. Hwang J-Y, Rifki A M et.al, (2020), Investigation of K-ion storage performances in a bismuth sulfide-carbon nanotube composite anode, *RSC Adv.*, 2020, 10, 6536 DOI: 10.1039/d0ra00374c rsc.li/rsc-advances
177. Julien Christian M, 2014. Comparative Issues of Cathode Materials for Li-Ion Batteries. *Inorganics* 2, pp. 132-154.
178. Kasvayee KA. (2011). Synthesis of Li-ion battery cathode materials via freeze granulation. Thesis Chalmers University of Technology.
179. Lagashetty A, Havanoor V, Basavaraja S dan Venkataraman A. (2007). Combusion Synthesis of LiMn_2O_4 by Thermal Decomposition of Ocalate Precursors. *Indian Journal of Chemical Technology*. Vol. 15. pp. 41-44.
180. Li, J., Wang, X., Huang, Q., Gamboa, S., and Sebastian, P.J. (2006). Studies on preparation and performances of carbon aerogel electrodes for the application of supercapacitor. *J. Power Sources* 158, 784–788.
181. Li, Y., Zhang, Q., Zhang, J., Jin, L., Zhao, X., and Xu, T. (2015). A top-down approach for fabricating free-standing bio-carbon supercapacitor electrodes with a hierarchical structure. *Sci. Rep.* 5.

182. Linden, David. (2004). *Handbook of Batteries*. Digital Library. McGraw-Hill: The McGraw-Hill Companies.
183. Lisowska-Oleksiak, A., Nowak, A.P., and Wicikowska, B. (2014). Aquatic biomass containing porous silica as an anode for lithium ion batteries. *RSC Adv* 4, 40439–40443.
184. Lisowska-Oleksiak, A., Nowak, A.P., and Wicikowska, B. (2014). Aquatic biomass containing porous silica as an anode for lithium ion batteries. *RSC Adv* 4, 40439–40443
185. Martin Winter and Ralph J Brodd. (2004). What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors ? . *Chem. Rev.* 104.
186. Mikolajczak C, Kahn and M, White K, Long RT. (2011). Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. *The Fire Protection Research Fondation*. pp. 26.
187. Münzer, A.M., Michael, Z.P., and Star, A. (2013). Carbon Nanotubes for the Label-Free Detection of Biomarkers. *ACS Nano* 7, 7448–7453.
188. Münzer, A.M., Michael, Z.P., and Star, A. (2013). Carbon Nanotubes for the Label-Free Detection of Biomarkers. *ACS Nano* 7, 7448–7453.
189. Natalina. (2013). Penggunaan enceng gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms) dan kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forsk) dalam perbaikan kualitas air limbah industri tahu. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi V Satek dan Indonesia Hijau (Satek Unila)*, pp: 980-988, ISBN : 978-979- 8510-71-7.
190. Oswal M, Paul J, and Zhao R. (2010). A Comparative Study of Lithium-Ion batteries. University of Southern California. pp. 2.
191. Oystein. (2012). Thermal characterisation of anode materials for Li-ion batteries. Norway: Norwegian University of Science and Technology.
192. Paravasthu, R. (2012). Synthesis and Characterization of Lithium-Ion Cathode Materials in The System $(1-x-y) \text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_{2} \cdot x\text{Li}_{2}\text{MnO}_{3} \cdot y\text{LiCoO}_{2}$. Colorado: Department of Mechanical Engineering Colorado State University.
193. Park M, Zhang XC, and Chang M.,(2010). A Review of Conduction Phenomena in Li-Ion Batteries. *Journal Power of Source*. Vol. 10.
194. Park M, Zhang XC, and Chang M.(2010). A Review of Conduction Phenomena in Li-Ion Batteries. *Journal Power of Source*. Vol. 10
195. Paulo, S., Palomares, E., and Martinez-Ferrero, E. (2016). Graphene and Carbon Quantum Dot-Based Materials in Photovoltaic Devices: From Synthesis to Applications. *Nanomaterials* 6, 157.

196. Paulo, S., Palomares, E., and Martinez-Ferrero, E. (2016). Graphene and Carbon Quantum Dot-Based Materials in Photovoltaic Devices: From Synthesis to Applications. *Nanomaterials* 6, 157.
197. Philippe, B. (2013). Insights in Li-ion Battery Interfaces through Photoelectron Spectroscopy Depth Profiling. *Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*. pp. 1041. 200.
198. Poizot, P., Laruelle, S., and Grugeon S. (2001). Searching for New Anode Materials for the Li-ion Technology: Time to Deviate From the usual Path. *Journal of Power Sources*. pp. 235-239.
199. Pralong, Valerie. (2012). Lithium-Rich Rock-Salt-Type Vanadate as Energy Storage Cathode: $\text{Li}_{2-x}\text{VO}_3$. *American Chemical Society*. pp.12–14
200. Priyono, Slamet. (2013). Sintesis Serbuk $\text{LiTi}_5\text{O}_{12}$ yang Didoping Atom Al dan Na untuk Anoda Baterai Ion Lithium. Disertasi Universitas Indonesia.
201. Rajawat, D.S., Srivastava, S., dan Satsangee, S.P. (2012). Electrochemical Determation Of Mercury At Trace Levels Using *Eichhornia Crassipes*.
202. Rizal Fauzuddin Noor Ramdhani dkk (2020), Perancangan *Vessel* Reaktor Hidrotermal Skala Komunal untuk Mengolah Sampah Kota Tidak Daur Ulang
203. Rosita, Enny, Winny R.M., dan Andi Z. (2013). Efektivitas Fitoremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) terhadap Penyerapan Orthopospat Pada Detergen Ditinjau Dari Detensi Waktu dan Konsentrasi Orthopospat. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 4, No. 1.
204. Ryu, J., Suh, Y.-W., Suh, D.J., and Ahn, D.J. (2010). Hydrothermal preparation of carbon microspheres from mono-saccharides and phenolic compounds. *Carbon* 48, 1990–1998.
205. Ryu, J., Suh, Y.-W., Suh, D.J., and Ahn, D.J. (2010). Hydrothermal preparation of carbon microspheres from mono-saccharides and phenolic compounds. *Carbon* 48, 1990–1998.
206. Sun, X., and Li, Y. (2004). Colloidal Carbon Spheres and Their Core/Shell Structures with Noble-Metal Nanoparticles. *Angew. Chem. Int. Ed.* 43, 597–601.
207. Syarif N, Haryati, Sri, 2020, Preparing of carbon nanodots from binchotan carbon by Electrochemical Sonification and Dialysis, IOP Conference series, Materials Science and Engineering. Vol 796,6 april 2020

208. Syarif N, Haryati, Sri, 2020, Study of Microwaves energy Conversion into electric current on semiconductor material Nav Gelam tree derived carbon nanosheet IOP Conference Series ,Materials Science and Engineering
209. Syarif, N., and Pardede, M.C. (2014). Hydrothermal Assisted Microwave Pyrolysis of Water Hyacinth for Electrochemical Capacitors Electrodes. *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl.* 5, 95–101.
210. Syarif, N., and Pardede, M.C. (2014). Hydrothermal Assisted Microwave Pyrolysis of Water Hyacinth for Electrochemical Capacitors Electrodes. *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl.* 5, 95–101.
211. Syarif, N., Haryati, S., Muharran, R., Rinaldo, O., Tin, Wong, WY., and Sudarsono, W. (2019). Developing Thick Layer Electrode from Gelam Wood Bark Carbon Nanosheet. *CET.* 73, 1 - 6.
212. Syarif, N., Haryati, S., Muharran, R., Rinaldo, O., Tin, Wong, WY., and Sudarsono, W. (2019). Developing Thick Layer Electrode from Gelam Wood Bark Carbon Nanosheet. *CET.* 73, 1 – 6
213. Vega Fresamitia Ingrid, Haryati Sri, Nirwan Syarief, 2022, Hydrothermal LiTiO₂ Cathode and Polyurethane Binder of High Current Lithium Ion Batteries,
214. Wang, Y., and Hu, A. (2014). Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications. *J Mater Chem C* 2, 6921–6939.
215. Wijaya A. S Dkk, 2020, Prototipe Reaktor Hidrotermal Pengolahan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat, *Prosiding Seminar Mahasiswa Teknik Kimia Politeknik Sriwijaya*
216. Wu, K., Gao, B., Su, J., Peng, X., Zhang, X., Fu, J., Peng, S., and Chu, P.K. (2016). Large and porous carbon sheets derived from water hyacinth for high-performance supercapacitors. *RSC Adv* 6, 29996–30003.
217. Wu, K., Gao, B., Su, J., Peng, X., Zhang, X., Fu, J., Peng, S., and Chu, P.K. (2016). Large and porous carbon sheets derived from water hyacinth for high-performance supercapacitors. *RSC Adv* 6, 29996–30003.
218. Xiaomin Yuana, et.al, 2021, Recent advance of biomass-derived carbon as anode for sustainable potassium ion battery, *Chemical Engineering Journal* 405 (2021) 126897
219. Xinyu Lin, et.al; (2022) Bio-inspired hierarchical nanoporous carbon derived from water spinach for high-performance supercapacitor electrode materials, *Nanoscale Adv.*, 2022, 4, 1445

220. Yuzian Wu, et.al, (2022) Applications of catalysts in thermochemical conversion of biomass (pyrolysis, hydrothermal liquefaction and gasification): A critical Review
221. Yuzian Wu, et.al, (2022) Applications of catalysts in thermochemical conversion of biomass (pyrolysis, hydrothermal liquefaction and gasification): A critical Review
222. Zhang, Y., Guo, C., Ma, Z., Wu, H., and Chen, C. (2015). Inexpensive Ipomoea aquatica Biomass-Modified Carbon Black as an Active Pt-Free Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction in an Alkaline Medium. *Materials* 8, 6658–6667.
223. Zhang, Y., Guo, C., Ma, Z., Wu, H., and Chen, C. (2015). Inexpensive Ipomoea aquatica Biomass-Modified Carbon Black as an Active Pt-Free Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction in an Alkaline Medium. *Materials* 8, 6658–6667
224. Zheng, K., Fan, X., Mao, Y., Lin, J., Dai, W., Zhang, J., and Cheng, J. (2016). The well-designed hierarchical structure of Musa basjoo for supercapacitors. *Sci. Rep.* 6.

DAFTAR LAMPIRAN

1. Publikasi Ilmiah di Jurnal Internasional Bereputasi yaitu Journal of Ecological Engineering, Journal Ranking Q3