

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF LIMBAH CANGKANG
BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) SEBAGAI MATERIAL
TERMOELEKTRIK SISTEM C–CuO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh:

LIZA OKTA AFNEL

NIM/TM. 18036130/2018

PROGRAM STUDI KIMIA

DEPARTEMEN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF LIMBAH CANGKANG BUAH KARET
(*Hevea brasilliesis*) - SEBAGAI MATERIAL TERMoeLEKTRIK SISTEM
C-CuO**

Nama : Liza Okta Afnel
NIM : 18036130
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

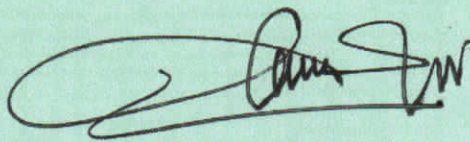
Padang, 15 November 2022

Mengetahui:
Kepala Departemen Kimia



Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D
NIP. 19721024 199803 1 001

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP.19720127 199702 1 002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

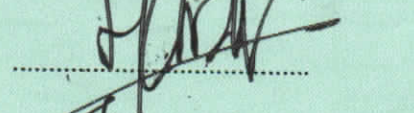
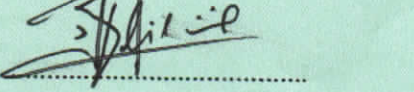
Nama : Liza Okta Afnel
NIM : 18036130
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PEMANFAATAN KARBON AKTIF LIMBAH CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasilliesis*) - SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK SISTEM C-CuO

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 15 November 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Ananda Putra, S.Si., M.Si., PhD	
Anggota	: Dr. Hardeli, M.Si	
Anggota	: Dra. Syamsi Aini, M.Si., PhD	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Liza Okta Afnel
NIM : 18036130
Tempat/Tanggal lahir : Padang Sibusuk/ 23 Oktober 1999
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Pemanfaatan Karbon Aktif Limbah Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai material termoelektrik Sistem C-CuO**

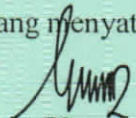
Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, 15 November 2022

Yang menyatakan


Liza Okta Afnel
NIM. 18036130

**Pemanfaatan Karbon Aktif Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) Sebagai Material Termoelektrik
Sistem C – CuO**

Liza Okta Afnel

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah cangkang buah karet dijadikan komposit karbon aktif – CuO sebagai material termoelektrik telah berhasil dibuat. Pada waktu 60 menit suhu 370 °C adalah waktu dan suhu optimum pembuatan karbon serta dengan lama waktu aktivasi 14 jam untuk karbon aktif optimum. Pencampuran karbon aktif dengan CuO menggunakan refluks adalah proses pembuatan komposit material. Material komposit perbandingan 3 gram karbon aktif : 7 gram CuO dengan ukuran material 3 cm x 3 cm x 0,5 cm merupakan material komposit termoelektrik yang terbaik. Dengan nilai konduktivitas listrik sebesar $0,1075 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$, daya hantar panas yang rendah 12,811 J/s dan tegangan listrik (efek *Seebeck*) yang tinggi $25,22 \cdot 10^{-3} \text{ mV/K}$. Hasil karakterisasi menggunakan XRD terhadap komposit karbon aktif – CuO menunjukkan struktur amorf dan kristalin yang tidak merubah struktur kristal pada CuO. Kemudian hasil karakterisasi XRF menunjukkan tidak ada zat baru yang terbentuk baik sebelum ataupun setelah aktivasi karbon dan komposit karbon aktif – CuO. Dan hasil karakterisasi menggunakan UV-DRS menunjukkan energi gap pada material komposit yaitu 1,33 eV.

Kata kunci: Cangkang Buah Karet, Karbon Aktif, Tembaga (II) Oksida CuO, Komposit Karbon Aktif – CuO , Material Termoelektrik

Utilization of Rubber Fruit Shell (*Hevea brasiliensis*) Activated Carbon as Thermoelectric Material for C-CuO System

Liza Okta Afnel

ABSTRACT

The utilization of rubber fruit shell waste as a composite of activated carbon – CuO as a thermoelectric material has been successfully made. At 60 minutes the temperature of 370 oC is the optimum time and temperature for making carbon and with an activation time of 14 hours for optimum activated carbon. Mixing activated carbon with CuO using reflux is a process for making composite materials. Composite material with a ratio of 3 grams of activated carbon: 7 grams of CuO with a material size of 3 cm x 3 cm x 0.5 cm is the best thermoelectric composite material. With an electrical conductivity value of 0.1075 MΩ-.cm-, a low thermal conductivity of 12.811 J/s and a high electrical voltage (Seebeck effect) of 25.22 10⁻³ mV/K. The results of characterization using XRD of activated carbon – CuO composites showed amorphous and crystalline structures that did not change the crystal structure of CuO. Then the results of XRF characterization showed that no new substances were formed either before or after the activation of carbon and activated carbon composites – CuO. And the result of characterization using UV-DRS shows the energy gap in the composite material is 1.33 eV.

Kata kunci: Rubber Fruit Shell, Activated Carbon, Copper (II) Oxide CuO, Composite Activated Carbon – CuO , Thermoelectric Material

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidaah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul **“Pemanfaatan Karbon Aktif Limbah Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai Material Termoelektrik Sistem C–CuO”**.

Proposal penelitian ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mata kuliah seminar proposal di Program Studi Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Kelancaran penulisan proposal penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, arahan, petunjuk dan masukan yang bermanfaat dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, yang telah memberikan nikmat menuntut ilmu sehingga penulis dapat menambah wawasan di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Effendi, S.Pd, M.Sc selaku penasehat akademik.
3. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D selaku pembimbing penelitian.
4. Bapak Dr. Hardeli, M.si selaku penguji.
5. Ibuk Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D selaku penguji.
6. Ibuk Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
7. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Prodi Kimia Universitas Negeri Padang.

8. Orang tua penulis yang telah meridhoi dan mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian.

Dalam penyusunan proposal ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Proposal Non Kependidikan 2019 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Penulis sadar bahwasannya proposal penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dengan kerendahan hati penulis berharap akan masukkan, kritikan serta saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Wassalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Padang, Agustus 2022

Liza Okta Afnel

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Material Termoelektrik	6
1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik	6
2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektrik.....	7
3. Jenis – jenis Material Termoelektrik	9
4. Aplikasi Material Termoelektrik	12
B. Karbon Aktif	13
C. Cangkang Buah Karet.....	16
D. Tembaga (II) Oksida (CuO).....	18
E. Karakterisasi	19
1. Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	19
2. Analisa DR–UV	21
3. Analisa XRF	22
BAB III	25
METODE PENELITIAN.....	25
A. Waktu dan Tempat.....	25
B. Objek Penelitian.....	25

C. Variabel Penelitian.....	25
D. Alat dan Bahan.....	26
1. Alat.....	26
2. Bahan.....	26
E. Prosedur Penelitian	26
1. Preparasi Karbon Aktif dari Cangkang buah karet (<i>Hevea brasiliensis</i>)	27
2. Karbonisasi dan Aktivasi Cangkang buah karet (<i>Hevea brasiliensis</i>).....	27
3. Pengujian Karakteristik Karbon Aktif.....	27
4. Preparasi Komposit Karbon Aktif-CuO	30
5. Pencetakan Material	30
7. Karakterisasi Komposit Karbon Aktif-CuO	32
F. Desain Penelitian	34
BAB IV	35
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
A. Karbon Aktif Cangkang Buah Karet (<i>Hevea brasiliensis</i>)	35
B. Karbonisasi, Aktivasi dan Karakteristik Karbon Aktif	35
C. Pencetakan Material Komposit Karbon Aktif - CuO	39
A. Pengujian Konduktivitas Listrik Perbandingan Massa	41
B. Pengujian Daya Hantar Panas Perbandingan Massa.....	42
C. Pengujian Tegangan Listrik yang Dihasilkan (<i>Efek Seeback</i>) Perbandingan Massa	43
D. Pengujian Konduktivitas Listrik Variasi Ketebalan	44
E. Pengujian Daya Hantar Panas Variasi Ketebalan	45
F. Pengujian Tegangan Listrik yang Dihasilkan (<i>Efek Seeback</i>) Variasi Ketebalan	46
G. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	46
H. Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence Spectrometer</i> (XRF)	49
I. Karakterisasi <i>Diffuse Reflectance-UV</i> (DR-UV)	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan mutu arang aktif menurut SNI No. 06-3720-1995 (LIPI, 2000) ...	16
2. Komposisi Kimia Cangkang Buah Karet	18
3. Sifat Khas CuO	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Konsumsi Listrik Nasional.....	1
Gambar 2. Percobaan Seebeck tentang fenomena termoelektrik (Velmre, 2010)..	6
Gambar 4. Ilustrasi generator termoelektrik (Zheng, 2008)	8
Gambar 5. Ilustrasi material termoelektrik material logam	10
Gambar 6. (a) Karbon aktif dibangun oleh karbon grafit amorf (b) Struktur heksagonal layer dan grafit (c) Gugus fungsi permukaan karbon aktif (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006)	13
Gambar 7. Cangkang Buah Karet	17
Gambar 9. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO).....	18

DAFTAR LAMPIRAN

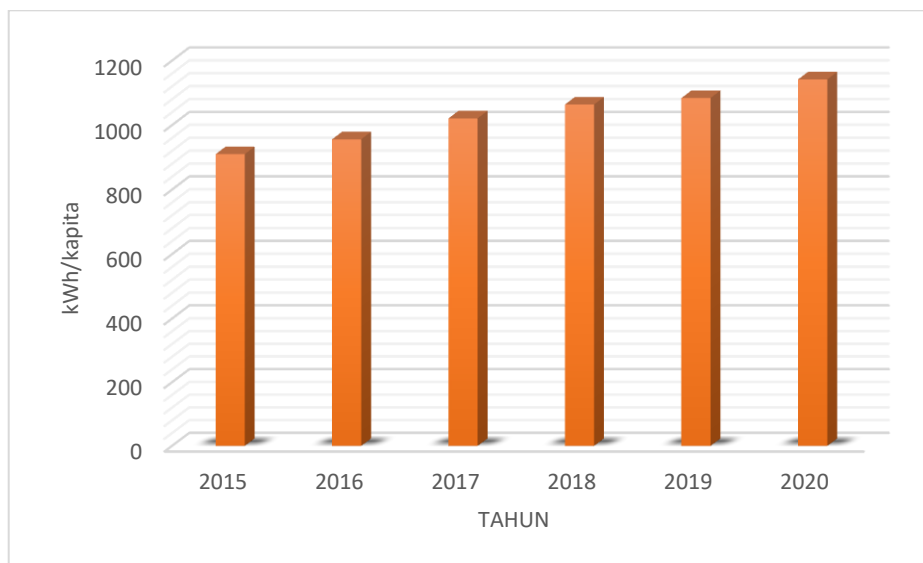
Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	55
2. Preparasi, karbonisasi dan aktivasi pelepah kelapa sawit menjadi karbon aktif.....	55
3. Pengujian karakteristik karbon aktif	55
4. Preparasi komposit karbon aktif – CuO dan pencetakan material	56
5. Pengujian konduktivitas listrik ($M\Omega \cdot cm$).....	57
6. Pengujian daya hantar panas (J/s)	57
7. Pengujian tegangan listrik yang dihasilkan (efek Seebeck).....	57
8. Analisa X-Ray Diffraction (XRD)	58
9. Analisa <i>X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)</i>	58
10. Data variasi karbonisasi	60
11. Data karbon aktif optimum setelah aktivasi menggunakan $ZnCl_2$	67
12. Tabel Nilai Konduktivitas Listrik	72
13. Tabel Nilai Tegangan Listrik Yang Dihasilkan (Efek Seebeck).....	72
14. Tabel Nilai Daya Hantar Panas	72
15. Tabel Nilai Konduktivitas Listrik	73
16. Tabel Nilai Tegangan Listrik Yang Dihasilkan (Efek Seebeck).....	74
17. Tabel Nilai Daya Hantar Panas	74
18. Data Hasil Karakterisasi XRD	75
19. Data Hasil Karakterisasi XRF	85
20. Data Hasil Karakterisasi UV-DRS.....	87
21. Dokumentasi Penelitian	88

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Aktivitas dan kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dengan kebutuhan energi listrik, listrik sudah menjadi penunjang bagi kehidupan. Sehingga dapat dipastikan terdapat peningkatan dalam konsumsi listrik nasional. Berdasarkan data pada tahun 2019 penggunaan listrik mencapai (1.084 kWh/kapita) mengalami peningkatan penggunaan sebesar 174 kWh/kapita jika dibandingkan dengan penggunaan pada tahun 2015 (910 kWh/kapita). Peningkatan konsumsi listrik nasional sejalan dengan sudah tersedianya listrik di hampir 95% wilayah Indonesia (Lidwina, 2020).



Gambar 1. Konsumsi Listrik Nasional

Di Indonesia sendiri memiliki beragam sumber energi yang dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. Berdasarkan kapasitasnya pembangkit listrik terbagi 2 jenis, yaitu pembangkit dengan kapasitas makro dan

pembangkit dengan kapasitas mikro. Pembangkit berkapasitas makro pada umumnya menggunakan air, uap, gas dan nuklir. Sedangkan pembangkit listrik dengan kapasitas mikro berupa pemanfaatan energi panas. Pemanfaatan energi panas ini juga didukung dengan terletaknya Indonesia pada rentang garis khatulistiwa yang berdampak pada melimpahnya sumber energi surya yang dimiliki (Khalid *et al.*, 2015).

Material termoelektrik dapat digunakan untuk mengganti energi panas menjadi energi listrik (Riffat & Ma, 2003). Idealnya, material termoelektrik memiliki efek Seebeck dan konduktivitas listrik yang tinggi, sedangkan konduktivitas termalnya rendah (Zheng, 2008). Salah satu material yang dapat digunakan sebagai material termoelektrik adalah karbon aktif, karbon aktif mempunyai keunggulan seperti tidak beracun, biaya yang tidak mahal serta memiliki luas permukaan yang tinggi (Kiani *et al.*, 2020). Karbon aktif memiliki konduktivitas yang rendah, sehingga dicari alternatif untuk mendapatkan material dengan konduktivitas termal yang rendah dan konduktivitas listrik yang tinggi yaitu dari komposit karbon aktif dengan material yang memiliki nilai konduktivitas listrik yang tinggi seperti tembaga (II) oksida (CuO) (Alorabi *et al.*, 2020).

CuO adalah salah satu oksida logam yang berguna dan memiliki banyak kegunaan di berbagai bidang. CuO memiliki *band gap* yang kecil 1,2 eV hampir dekat dengan *band gap* semikonduktor yang sering digunakan sebagai material termoelektrik (Aparma *et al.*, 2012). Karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) dan CuO yang digunakan adalah serbuk CuO murni.

Cangkang buah karet dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif, namun ada juga sebagian orang menggunakannya sebagai bahan untuk pembuatan berbagai kerajinan tangan. Dan juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai material termoelektrik tanpa mengeluarkan biaya yang terlalu besar. Penggunaan limbah cangkang buah karet dapat menjadi solusi penanganan penumpukan limbah organik cangkang buah karet dan pengolahan air limbah (Zulfadhli, 2017).

Berdasarkan permasalahan di atas, maka penelitian kali ini berupa “Pemanfaatan Komposit Karbon Aktif Cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai Material Termoelektrik Sistem C – CuO”. Penelitian dilakukan dengan metode aktivasi kimia serta karakteristik struktur dan morfologi arang aktif dianalisis menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) dan pengamatan energi (*band gap*) yang dihasilkan dengan DR–UV (*Diffuse Reflectance – Ultra Violet*). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu dari material termoelektrik kualitas yang bagus, ekonomis serta ramah lingkungan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah berupa:

1. Kebutuhan energi listrik meningkat sehingga dibutuhkan alternatif baru sebagai sumber energi.
2. Masih banyak sumber energi listrik yang belum dimanfaatkan seperti energi panas.

3. Pengembangan energi listrik alternatif dari energi panas (generator termoelektrik) masih didominasi oleh semikonduktor berbahan Bi, Si, Te, Ge dan lainnya yang harganya sangat mahal.
4. Penggunaan komposit karbon aktif dengan oksida logam sebagai material termoelektrik di tahap penelitian belum pada tahap aplikasi.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*).
2. Karbon aktif dari Cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) dikompositkan dengan CuO.
3. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian konduktivitas listrik, pengujian daya hantar panas, dan pengujian efek *seebeck*.
4. Karakterisasi komposit karbon aktif – CuO dilakukan dengan XRD, DR–UV dan multimeter.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas, maka dapat dituliskan rumusan masalah berupa:

1. Bagaimana melakukan preparasi karbon aktif dari Cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai material termoelektrik?
2. Bagaimana membuat komposit karbon aktif dari Cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) dengan CuO sebagai material termoelektrik sistem C–CuO?

3. Bagaimana hasil pengujian dan karakteristik material termoelektrik Komposit Karbon Aktif – CuO?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan preparasi material karbon aktif dari Cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai material termoelektrik.
2. Membuat komposit karbon aktif – CuO sebagai material termoelektrik.
3. Melakukan pengujian dan karakterisasi pada material termoelektrik komposit C – CuO.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi dan pengetahuan mengenai material termoelektrik dari C – CuO.
2. Memberi wawasan mengenai alternatif energi listrik material termoelektrik.
3. Bisa di jadikan sebagai sumber referensi dan ide untuk penelitian lanjutan.

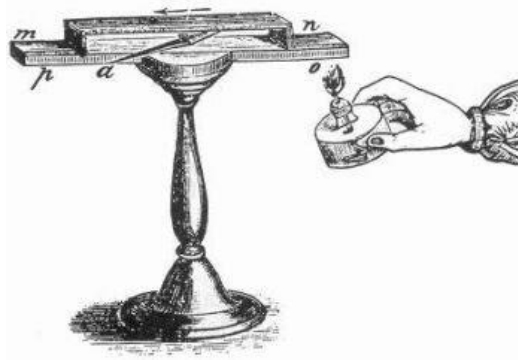
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Material Termoelektrik

1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik

Termoelektrik adalah sebuah perangkat yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik. Dikenal juga dengan sebutan “efek *Seebeck*” yang ditemukan pada tahun 1821. Fenomena tersebut dapat terjadi dikarenakan perbedaan suhu antara kedua ujung pada bahan semikonduktor yang mana ada ujung yang bagiannya panas dan di sisi lain dan bagian lainnya dingin sehingga dihasilkan tegangan listrik yang merupakan tegangan *Seebeck* (Riffat & Ma, 2003). Pada tahun 1823 *Seebeck* menjabarkan hasil uangnya diujinya. Dimana terdapat dua konduktor yang beda di tempatkan di antara jarum kompas, kemudian salah satu konduktor dipanaskan dan jarum kompas bergerak (Rowe, 1995).



Gambar 2. Percobaan Seebeck tentang fenomena termoelektrik (Velmre, 2010)

Pada abad ke-19 para peneliti sudah mencari berbagai generator termoelektrik yang efisien dan ekonomis. Dalam menemukan generator yang efisien mereka berasumsi bahwasannya hal tersebut tergantung pada konstruksi generator serta property termoelektrik. Namun pada 1909 Edmund Altenkirch

secara matematis menyatakan bahwasannya terdapat keterkaitan antara fisik, sifat termoelektrik dengan efisiensi. Pada 1913 W.W. Coblentz juga sudah melakukan penelitian mengenai termoelektrik menggunakan tembaga dan campuran nikel dengan tembaga. Sehingga didapat efisiensi sebesar 0,008% dan mampu membangkitkan energi listrik sebesar 0,6 mW. Kemudian A.F. Loffe meneruskan menggunakan bahan semikonduktor dari golongan II – V, IV – VI, V – VI yang saat itu sedang berkembang. Loffe mendapatkan terjadinya peningkatan efisiensi menjadi 4% sehingga pada tahun 1956 hasil penelitian ini dibukukan (Polozine *et al.*, 2014).

2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektrik

Material termoelektrik memiliki dua material susunan yang berbeda dan kemudian disambungkan satu sama lain. Dalam termoelektrik memiliki 3 efek utama yaitu Efek *Seebeck*, Efek *Peltier* dan Efek *Thomson* (Riffat & Ma, 2003). Efek *Seebeck* merupakan peristiwa terjadinya tegangan listrik antara sambungan dua bahan material yang berbeda ketika terdapat perbedaan temperature. Sehingga arus listrik yang dihasilkan dapat diketahui melalui persamaan berikut (Brahma *et al.*, 2005):

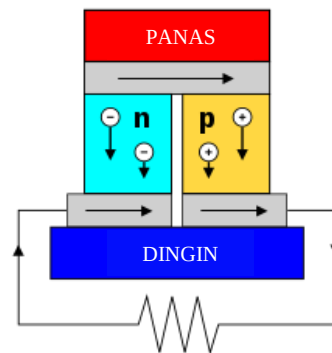
$$S = \frac{dV}{dT} \quad (1)$$

Dimana:

- S merupakan efek *Seebeck*
- V merupakan tegangan termoelektri
- T merupakan temperature

beberapa tahun kemudian ilmuwan bernama Peltier menemukan efek yang lebih efisien dan saling melengkapi, yang mana pada saat arus lewat terjadi

perubahan suhu pada persimpangan konduktor. Efek *Peltier* sendiri merupakan kebalikan dari efek *Seebeck* dimana terjadinya perbedaan suhu pada suatu material karena terdapat tegangan listrik (Rowe, 1995). Sedangkan efek *Thomson* yang mana keadaan arus termal dan medan listrik yang berbeda dalam suatu konduktor homogen. Penerapan efek termoelektrik tersebut terdapat dalam modul termoelektrik dimana Efek *Seebeck* pada generator termoelektrik sedangkan Efek *Peltier* pada pendingin termoelektrik



Gambar 3. Ilustrasi generator termoelektrik (Zheng, 2008)

Dapat dilihat dari gambar di atas bias diamati bahwasannya generator termoelektrik merupakan material yang digunakan sebagai pengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Dengan menempatkan material termoelektrik sedemikian rupa pada rangkaian yang terhubung antara sumber panas dan dingin. Sehingga dari rangkaian tersebut dihasilkan arus listrik berdasarkan bahan jenis bahan yang dipakai (Riffat & Ma, 2003).

Material semikonduktor dan logam memiliki elektron dan *hole* yang mempunyai fungsi untuk pembawa muatan. Semikonduktor tipe-n merupakan yang kaya akan elektron ketika dipanaskan elektron – elektron tersebut akan bergerak menuju temperature yang lebih rendah. Semikonduktor tipe-p *hole* yang

menerima energi panas akan mengikat dan menarik elektron dari temperatur yang lebih rendah sehingga *hole* seperti berpindah dari temperature tinggi ke rendah. Dengan terakumulasinya *hole* dan elektron pada temperature rendah tersebut, maka terdapat perbedaan potensial listrik sehingga arus dapat mengalir.

Material termoelektrik yang baik saat ini digunakan dalam perangkat adalah material yang memiliki nilai $ZT \approx 1$, dimana semakin tinggi menandakan sifat termoelektrik semakin baik (Tritt & Subramanian, 2006). Standar dari perkembangan material termoelektrik disebut *figure of merit* (ZT) yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Jarman *et al.*, 2013):

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{k} \quad (2)$$

Dimana:

- σ merupakan konduktivitas listrik
- α merupakan koefisien *Seebeck*
- T merupakan temperatur operasi rata – rata
- K merupakan konduktivitas termal.

Idelanya material termoelektrik memiliki konduktivitas listrik dan efek *Seebeck* yang tinggi namun dengan daya hantar panas rendah. Material termoelektrik dengan kriteria tersebut masih sulit untuk ditemukan. Hal tersebut karena pada umumnya jika konduktivitas listrik suatu material tinggi maka daya hantar panasnya juga tinggi (Zheng, 2008).

3. Jenis – jenis Material Termoelektrik

Material termoelektrik adalah material yang mampu mengubah energi panas menjadi energi listrik dan begitu juga (Riffat & Ma, 2003). Material termoelektrik sendiri terdiri dari dua jenis material berbeda yang disambungkan satu sama lain.

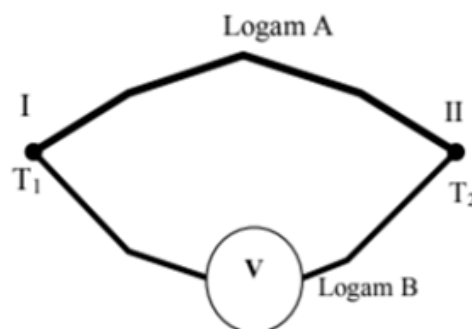
Terdapat tiga jenis material termoelektrik yaitu material berjenis logam, semionduktor dan oksida logam.

a. Material Logam

Pada material logam ada dua perhitungan termoelektrik:

- i. Sambungan dingin, dimana sambungan dingin merupakan sambungan yang suhunya harus dijaga konstan
- ii. Sambungan panas, sambungan yang suhunya lebih tinggi karena dipanaskan

Sebuah rangkaian tertutup dengan dua kawat logam yang berbeda (A dan B) dan setiap ujungnya disambungkan, jika pada tiap sambungan diberikan suhu berbeda (T_1 dan T_2) kemudian dipasang ampermeter (galvanometer) pada rangkaian maka akan timbul arus listrik (I) dengan adanya penyimpangan pada jarum ampermeter (galvanometer). Penerapan dan penggunaan material termoelektrik logam ini diaplikasikan pada termokopel, pengukur suhu dan lainnya (Karim, 2006).



Gambar 4. Ilustrasi material termoelektrik material logam

b. Material Semikonduktor

Dikarenakan belum ditemukannya material yang ideal Carette dkk mempelajari konduktivitas termal dari beberapa bahan semikonduktor dan melaporkan bahwa semikonduktor AgKTe menunjukkan konduktivitas pada suhu kamar. Setelah melakukan evaluasi dengan pengkombinasian teori kepadatan (DFT) yang dikombinasikan dengan teori transportasi Boltzmann semiklasik dan teori potensi deformasi (DP). Akhirnya didapati perhitungan matematis yang menyiratkan bahwa AgKTe dapat menjadi bahan termoelektrik yang menjajikan (Ma *et al.*, 2018).

Pada teori semikonduktor klasik dengan anggapan pada pita konduksi yang lebar terdapat elektron yang berputar. Bahan termoelektrik konvensional dikembangkan hingga tahun 1990-an yang sudah dipilih berdasarkan panduan dimana prinsipnya adalah berupa senyawa intermetalik dan campuran logam dengan sifat ikatan kovalen (untuk mobilitas tinggi). Bahan yang terpilih terdiri dari unsur – unsur berat seperti Bi, Te dan Pb. Salah satu representatif bahan tersebut seperti Bi_2Te_3 untuk suhu hingga 200 °C, PbTe untuk 400 – 600 °C dan campuran logam Si-Ge untuk 400 – 1000 °C. Namun bahan ini tidak dapat untuk dipasarkan secara luas karena kekurangannya seperti daya tahan yang buruk pada suhu tinggi, sumber daya yang sedikit, tingginya biaya perakitan serta tingkat toksisitas yang tinggi (Ohtaki, 2011).

c. Material Oksida Logam

Oksida logam transisi banyak dijumpai memiliki suhu yang tinggi pada oksida berbasis Cu, sangat konduktivitas, efek termoelektrik yang

besar dijumpai pada oksida berbasis Co. Sifat yang sangat menjanjikan ini bersumber dari hubungan antara tingkat kebebasan orbital, pin dan kapasitas pada sistem elektron yang memiliki hubungan timbal balik dengan logam transisi yang bersangkutan paut (Sutjahja & Nugroho, 2012).

4. Aplikasi Material Termoelektrik

Termoelektrik adalah perubahan energi *solid-state*, yang ramah lingkungan dan bebas dari bahaya sehingga dapat mengubah langsung energi panas ke energi listrik dan begitu juga sebaliknya. Hal ini memiliki aplikasi luas dalam pendinginan, pembangkit listrik dan pemulihan limbah panas. Baru – baru ini pertumbuhan mikroelektronika telah memicu pengembangan bahan termoelektrik fleksibel yang menjanjikan untuk aplikasi di perangkat yang dapat digunakan seperti generator bertenaga sendiri yang berasal dari perbedaan suhu antara kulit dengan lingkungan sekitar.

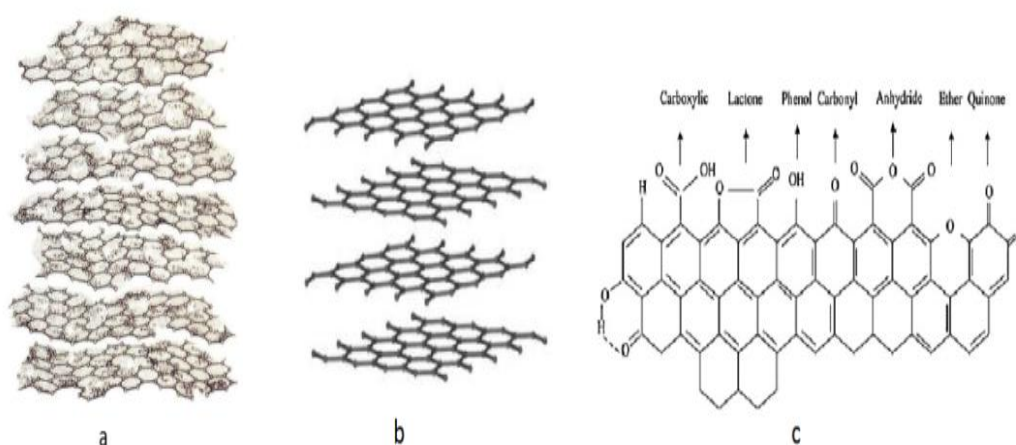
Akan tetapi penggunaan material termoelektrik memiliki banyak tantangan dikarenakan belum bisa dipasarkan secara luas disebabkan unsur yang digunakan minim tersedia, biaya yang mahal dan beracun. Oleh karena itu, film tipis termoelektrik dikembangkan karena tidak beracun dan biayanya murah dengan hasil yang sesuai diinginkan (X. Huang *et al.*, 2021).

Dengan perkembangan teknologi elektronik, panas perangkat elektronik semakin meningkat. Secara bersamaan teknologi pendingin pasif tradisional seperti pendingin konveksi alami mencapai batas kapasitas pendinginan dan efisiensi pendinginan untuk perangkat listrik berdaya tinggi. Dibandingkan dengan pendingin tradisional, pendingin termoelektrik memiliki potensi untuk

mengatasi pembuangan panas karena operasinya yang andal, kemampuan beradaptasi dan respon yang cepat. Dalam desain termal, permukaan minimum suhu CPU sesuai dengan daya input yang besar. Hal ini sering bertentangan antara permukaan suhu dengan daya input dalam hal kinerja optimal sistem pendingin termoelektrik. Pengoptimalan ini juga konduktif untuk mempelajari sistem pendingin termoelektrik pada pendingin CPU (Cai *et al.*, 2017).

B. Karbon Aktif

Salah satu material yang efektif digunakan dalam termoelektrik adalah karbon aktif karena luas permukaannya yang tinggi. Karbon aktif sendiri bersifat amorf dan bahan dengan basis karbon. Luas permukaan antar partikel pada karbon aktif sangat besar serta porositas yang tinggi. Karbon aktif adalah terikatnya secara kovalen sebuah atom karbon dalam sebuah sisi heksagonal yang membuat karbon aktif memiliki struktur grafit. Gaya van der Waals merupakan ikatan antara lapisan pada karbon aktif sehingga porositas pada permukaan karbon aktif menjadi tinggi (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006).



Gambar 5. (a) Karbon aktif dibangun oleh karbon grafit amorf (b) Struktur heksagonal layer dan grafit (c) Gugus fungsi permukaan karbon aktif (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006)

Pemanfaatan karbon aktif telah banyak dimanfaatkan seperti penghilangan bau, pemurnian air, katalis dan penyimpanan. Mesoporous merupakan salah satu sifat karbon aktif yang mengakibatkan kemungkinan masuknya gas atau cairan ke dalam pori (Nor *et al.*, 2013). Kualitas karbon aktif dapat dilihat dari karakteristik karbon aktif seperti struktur pori dan distribusi ukuran pori. Kualitas karbon aktif juga dapat dipengaruhi oleh sifat dan proses pembuatannya. Sintesis karbon aktif dapat dilakukan dengan pemanasan konvensional dan pemanasan non konvensional (Sharif *et al.*, 2018).

Berikut adalah tahapan dari preparasi karbon aktif:

1. Dehidrasi

Tujuan dari dehidrasi adalah untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan air pada bahan baku karbon. Dengan cara menjemur bahan baku tersebut di panas sinar matahari atau pemanasan dengan oven sehingga memperoleh berat yang stabil atau konstan (Tumimomor & Palilingan, 2018).

2. Karbonisasi

Karbonisasi bertujuan agar kandungan karbon lebih banyak dengan menghilangkan unsur non-karbon lainnya. Suhu karbonisasi juga dapat mempengaruhi kualitas karbon. Suhu karbonisasi tinggi dapat mengakibatkan peningkatan laju pelepasan cairan dan gas serta penurunan hasil karbon. Suhu tinggi akan meningkatkan kandungan karbon dan kadar abu dan mengurangi bahan yang mudah menguap (Nor *et al.*, 2013). Temperature tinggi sangat penting dalam karbonisasi, namun temperature yang terlalu tinggi juga akan mengakibatkan adanya kandungan abu pada

karbon, sehingga dalam hal ini perlu dilakukannya pembatasan temperature. Terdapatnya abu pada saat karbonisasi akan mengakibatkan tersumbatnya pori – pori karbon sehingga luas permukaan menurun.

3. Aktivasi

Tujuan dari aktivasi yaitu untuk meningkatkan volume pori, luas permukaan dan porositas karbon aktif. Terdapat tiga cara aktivasi yaitu dengan aktivasi fisika, kimia, dan fisikokimia (gabungan). Pada aktivasi dinding antar pori menjadi besar karena dinding tersebut terbakar sehingga struktur mikroporinya mengembang. Metode *steam* lebih di rekomendasikan pada aktivasi fisik dibandingkan CO₂. Ukuran molekul air yang lebih kecil dapat memperlancar terjadinya difusi pada struktur pori. Sedangkan pada aktivasi kimia banyak memanfaatkan agen pengaktivasi, dengan KOH, NaOH, HPO₄ dan ZnCl₂. Proses degradasi dan dehidrasi pada aktivasi kimia dapat mengakibatkan porositas mengembang (Nor *et al.*, 2013).

Beberapa factor yang mempengaruhi proses aktivasi adalah sebagai berikut:

1. Suhu

Luas permukaan serta pori – pori karbon akan meningkat seiring dengan naiknya suhu. Hal ini terjadi karena ketika suhu tinggi akan melepaskan senyawa volatile sehingga porositas karbon aktif menjadi meningkat.

2. Waktu karbonisasi

Reaksi pirolisis akan semakin sempurna dan karbon yang dihasilkan semakin menurun jika waktu karbonisasi semakin lama, namun kualitas karbon yang dihasilkan meningkat.

3. Rasio aktivasi

Peningkatan jumlah pengaktivasi akan meningkatkan luas permukaan. Dan juga dapat meningkatkan volume pori karbon (Kristianto, 2017)

Kualitas karbon aktif akan melalui beberapa uji seperti uji kadar abu, kadar air, kadar karbon terikat, kadar uap dan daya serap iodin. Masing – masing kadar tersebut telah diatur batas persyaratannya dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam tabel berikut (LIPI, 2000):

Tabel 1. Persyaratan mutu arang aktif menurut SNI No. 06-3720-1995 (LIPI, 2000)

Jenis Uji	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar Air	Mak. 4,5%	Mak. 15%
Kadar Abu	Mak. 2,5%	Min. 10%
Kadar Uap	Mak. 15%	Min. 25%
Kadar Karbon Terikat	Min. 80%	Min. 65%
Daya Serap Iod	Min. 750 mg/g	Min. 750 mg/g

C. Cangkang Buah Karet

Cangkang buah karet merupakan bagian yang tidak terpakai dari pohon karet sehingga menjadi limbah. Perkebunan karet di Indonesia sebagian besar dimiliki dan dikelola oleh masyarakat, tetapi yang dimanfaatkan hanyalah lateks saja sedangkan bagian lainnya tidak. Pengolahan bagian lain dari pohon karet

yang belum dimanfaatkan seperti cangkang buah karet, diharapkan mampu meningkatkan nilai ekonomis dari perkebunan karet.

Cangkang buah karet dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif, namun ada juga sebagian orang menggunakannya sebagai bahan untuk pembuatan berbagai kerajinan tangan. Cangkang buah karet juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai material termoelektrik tanpa mengeluarkan biaya yang terlalu besar. Penggunaan limbah cangkang buah karet juga dapat menjadi solusi penanganan penumpukan limbah organik sabut kelapa dan pengolahan air limbah (Zulfadhli, 2017)



Gambar 6. Cangkang Buah Karet

Terdapat tiga unsur kimia pada cangkang buah karet yaitu selulosa (hemiselulosa), lignin, pentosan yang dikelompokkan dan disebut dengan senyawa lignoselulosa. Senyawa ini banyak ditemukan dalam limbah pertanian seperti cangkang buah karet. Kandungan tersebut membuat cangkang buah karet dapat dijadikan arang hayati yang bagus melalui proses pembakaran (Chaudhuri *et al.*, 2010).

Tabel 2. Komposisi Kimia Cangkang Buah Karet

Komponen Penyusun	Presentase (%)
Selulosa	48,64
Lignin	33,54
Pentosan	16,81
Kadar Abu	1,25
Kadar Silika	0,52

Esih Susi Safitri, 2003

D. Tembaga (II) Oksida (CuO)

Oksida logam transisi terdiri dari berbagai macam jenis seperti Fe_3O_4 , TiO_2 , MnO_2 , ZnO , CuO dan banyak lainnya. Oksida logam tersebut berpotensi sebagai semikonduktor dan katalis.



Gambar 7. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO)

CuO memiliki potensi aplikasi di berbagai bidang. CuO banyak digunakan pada optoelektronik dan perangkat elektronik, seperti sensor gas, emitter lapangan, katalis, cairan nano, high-Tc super konduktor, sel elektro kimia dan

perangkat penyimpanan magnetic. CuO dikenal merupakan bahan semikonduktor tipe-p dengan energi celah pita 1,2 eV.

Beberapa sifat CuO diantaranya terdapat pada table berikut

Tabel 3. Sifat Khas CuO

Sifat	Nilai
Struktur Kristal	Monoklin
Band gap	1,2 Ev
Titik leleh	1134 °C
Wujud	Padatan hitam keabuan
Dekomposisi termal	T > 850 °C

(Aparna *et al.*, 2012).

E. Karakterisasi

1. Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-ray diffraction (XRD) merupakan teknik untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan menentukan parameter struktur kisi serta untuk mengetahui ukuran partikel. Prinsip difraksi sinar-X berupa ketika sinar-X mengenai benda padat berupa atom, sinar-X akan dihamburkan oleh elektron – elektron di dalam atom. Interferensi gelombang konstruktif atau destruktif terjadi di sepanjang arah yang berbeda karena gelombang yang tersebar (pola difraksi) dipancarkan oleh atom pada posisi yang berbeda. Namun interferensi konstruktif terjadi jika padatan memiliki susunan struktur atom yang teratur. Terdapat hubungan kuat antara struktur atom periodic Kristal dan pola difraksi dalam material. Susuna atom (periodisitas) dengan jarak berulang yang jauh menyebabkan difraksi pada sudut kecil sedangkan jarak berulang pendek menyebabkan difraksi pada sudut tinggi. Posisi puncak difraksi digunakan untuk

menentukan bentuk dan ukuran sel satuan sedangkan intensitas puncak difraksi menentukan posisi atom di dalam sel dan nomor atom (Ameh, 2019).

Difraksi sinar-X (XRD) dengan teknik khusus dapat dimanfaatkan untuk menentukan struktur kristal, membuat pengukuran tekstur seperti orientasi butiran dalam sampel polikristalin dan mengkarakterisasi sampel lapisan tipis (Bunaciu *et al.*, 2015). Dalam penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kristal dapat menggunakan persamaan *Bragg* sebagai dasar, dengan persamaan sebagai berikut (Ameh, 2019):

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3)$$

Dimana:

λ = panjang gelombang sinar-X

n = orde refleksi

d = jarak antara dua bidang kisi

θ = sudut balok difraksi

Beberapa keunggulan dari *X-ray diffraction* (XRD) adalah (Bunaciu *et al.*, 2015):

1. Bertenaga dan cepat (<20 menit) dalam identifikasi mineral yang belum diketahui
2. Memberikan penentuan mineral yang tidak ambigu dalam banyak kasus
3. Membutuhkan persiapan sampel yang minimal
4. Ketersediaan unit XRD yang luas
5. Interpretasi data yang relatif mudah

2. Analisa DR–UV

Diffuse Reflectance-UV (DR-UV) karakterisasi yang dilakukan untuk mengetahui besarnya energy band gap yang dihasilkan oleh material semikonduktor yang sudah disintesis. Energi gap adalah energi celah yang berada di antara pita valensi yang penuh dengan elektron dengan pita konduksi yang kosong elektron. Pada material semikonduktor harga energi gap sangatlah penting karena akan berpengaruh dengan kinerja material semikonduktor dalam mengalirkan elektron dan hole. Apabila energi gap terlalu kecil maka akan mengakibatkan loncatan ke pita konduksi dari pita valensi sehingga elektron menjadi kurang bebas, namun apabila energi gap terlalu besar maka juga akan menghambat loncatan elektron yang mengakibatkan terhambatnya aliran elektron (Wiranda, 2015).

Pada umumnya energi dari celah pita suatu semikonduktor memiliki nilai $h\nu$ pada saat $(F(R')h\nu)^{1/2} - 0$, ini didapat dari persamaan regresi linear kurva tersebut. Energi celah pita dapat diperoleh dengan perhitungan perubahan besaran %R ke dalam faktor Kubelka-Munk ($F(R)$) seperti rumus berikut (Sanjaya, 2017):

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4)$$

Dimana:

$F(R)$ = faktor *Kubelka-Munk*

K = koefisien absorbansi

S = koefisien *scattering*

R = nilai reflektansi

Untuk energi celah pita dapat diperoleh melalui grafik hubungan antara $h\nu(\text{eV})$ dan $(F(R'\infty)h\nu)^{1/2}$ dengan menentukan nilai $h\nu(\text{eV})$ melalui persamaan berikut (Sanjaya, 2017):

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (5)$$

Dimana:

E_g = energi celah pita (eV)

h = tetapan Planck ($6,624 \times 10^{-34}$ Js)

c = kecepatan cahaya ketika di udara

λ = panjang gelombang (nm)

3. Analisa XRF

X-Ray Fluorescence atau XRF adalah suatu teknik analisis yang memiliki hasil akurat dan cukup ekonomis dalam menentukan komposisi kimia dari berbagai jenis material seperti kaca, bahan bangunan, keramik maupun logam (Omatola & Onojah).

Analisa XRF berdasarkan pencacahan karakteristik sinar-x yang dihasilkan oleh efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena adanya elektron di dalam sampel (atom target) menabrak berkas yang mempunyai energi tinggi. Jika energi sinar tersebut lebih tinggi dibandingkan energi ikat elektron dalam orbital K, L atau M sampel maka elektron pada sampel keluar dari orbitalnya, akibatnya terjadi kekosongan ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang berada lebih luar diikuti dengan pelepasan energi yang berupa sinar-x.

Spektrometri XRF menggunakan sinar-x, sinar-x ini dipancarkan oleh bahan yang kemudian ditangkap oleh detektor untuk dianalisis kandungan unsur yang berada pada material. Material yang dianalisis dapat berbentuk padat massif dan serbuk. Analisa ini dapat dilakukan secara kuantitatif maupun kualitatif, untuk analisa secara kuantitatif berguna untuk menentukan konsentrasi unsur dalam material sedangkan analisa kualitatif menganalisa jenis unsur yang terkandung didalam material.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa:

1. Karbon aktif optimum pada waktu 60 menit dengan suhu karbonisasi 370 °C dan aktivasi dengan ZnCl 25% selama 14 jam sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995)
2. Material komposit termoelektrik dengan perbandingan karbon aktif 3 gram : CuO 7 gram (KC 3) dengan ukuran 3 cm x 3 cm x 0,5 cm merupakan material komposit optimum atau terbaik memiliki nilai konduktivitas listrik tinggi sebesar $0,1075 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$, daya hantar panas rendah 12.811 J/s dan tegangan listrik (*Efek Seebeck*) tinggi $2,52 \times 10^3 \mu\text{V/K}$.
3. Hasil karakterisasi dengan XRD pada material komposit menunjukkan struktur amorf dan kristal terstinggi pada posisi 2θ 38,72 sebesar 22,463 nm. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa tidak ada zat baru yang terbentuk sebelum ataupun sesudah aktivasi dan komposit. Kemudian hasil karakterisasi dengan UV-DRS menunjukkan *band gap* dari material komposit yaitu 1.33 eV.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan disarankan:

1. Menggunakan instrumentasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk memastikan struktur morfologi karbon sebelum dan setelah aktivasi.

Material termoelektrik yang dibuat dapat dilanjutkan pada tahap

aplikasi pembuatan generator termoelektrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alorabi, A. Q., Shamshi Hassan, M., & Azizi, M. (2020). Fe₃O₄-CuO-activated carbon composite as an efficient adsorbent for bromophenol blue dye removal from aqueous solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(11), 8080–8091. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.09.039>
- Ameh, E. S. (2019). A review of basic crystallography and x-ray diffraction applications. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(7–8), 3289–3302. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04508-1>
- An, Y., Huang, C., & Wang, X. (2021). Effects of thermal conductivity and wettability of porous materials on the boiling heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 170(June), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107110>
- Aparna, Y., Rao, K. . E., & Subbarao, P. S. (2012). Synthesis and Characterization of CuO Nano Particles by Novel Sol Gel Method. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 32(1), 12–16. <https://doi.org/10.7763/IPCBE>
- Arazi, I., & Putra, A. (2020). Preparation and Characterization Composites of Activated Carbon from Cassava Peel (Manihot Utilissima) - Copper (II) Oxide (CuO) as a Thermoelectric Material. *International Journal of Research and Review (IJRR)*, 7(9), 42–51. https://www.ijrrjournal.com/IJRR_Vol.7_Issue.9_Sep2020/IJRR007.pdf
- Brahma, S. K., Boit, C., & Glowacki, A. (2005). Seebeck effect detection on biased device without OBIRCH distortion using FET readout. *Microelectronics Reliability*, 45(9–11), 1487–1492. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2005.07.041>
- Cai, Y., Liu, D., Yang, J. J., Wang, Y., & Zhao, F. Y. (2017). Optimization of Thermoelectric Cooling System for Application in CPU Cooler. *Energy Procedia*, 105, 1644–1650. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.535>
- Chaudhuri, M., Kutty, S. R. M., & Yusop, S. H. (2010). Copper and cadmium adsorption by activated carbon prepared from coconut coir. *Nature Environment and Pollution Technology*, 9(1), 25–28.
- Huang, H., Wen, P., Bi, T., Duan, B., Zhou, X., Li, Y., & Zhai, P. (2021). Influence of graphene oxide nanosheets and multi-walled carbon nanotubes on the thermoelectric and mechanical properties of Mg₂(Si_{0.3}Sn_{0.7})_{0.99}Sb_{0.01}. *Scripta Materialia*, 203, 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2021.114103>
- Huang, X., Ao, D., Chen, T., Chen, Y., Li, F., Chen, S., Liang, G., Zhang, X., Zheng, Z., & Fan, P. (2021). High-performance copper selenide thermoelectric thin films for flexible thermoelectric application optimized the carrier concentration of Cu₂Se- based films through a soaking process in Cu²⁺ ion solution. *21*. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2021.100743>