

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF LIMBAH SABUT KELAPA  
(*Cocos nucifera*) SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK  
SISTEM C/CuO**



**NANDITHO AZIMA PUTRA  
NIM/TM. 18036091/2018**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**2022**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

### PEMANFAATAN KARBON AKTIF LIMBAH SABUT KELAPA (*Cocos nucifera*) SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK SISTEM C/CuO

Nama : Nanditho Azima Putra  
NIM : 18036091  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juni 2022

Mengetahui  
Kepala Departemen



Budhi Oktavia, S.Si., 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**

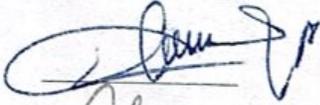
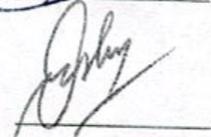
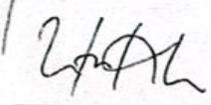
Nama : Nanditho Azima Putra  
NIM : 18036091  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF LIMBAH SABUT KELAPA (*Cocos nucifera*) SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK SISTEM C/CuO**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Padang, Juni 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D.	
Anggota	: Dr. rer. nat. Deski Beri, S.Si., M.Si.	
Anggota	: Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D.	

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

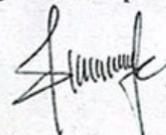
Nama : Nanditho Azima Putra  
NIM/TM : 18036091 / 2018  
Tempat/Tanggal Lahir : Padang / 04 Maret 2000  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Alamat : Blok M Indarung No.36  
No. HP/Telp : 083181408139  
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif Limbah Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) 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 Universitas Negeri Padang 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. 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 telah 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, Juni 2022  
Yang membuat pernyataan



**Nanditho Azima Putra**  
NIM. 18036091

# **Pemanfaatan Karbon Aktif Limbah Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C/CuO**

**Nanditho Azima Putra**

## **ABSTRAK**

Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai material termoelektrik telah berhasil dilakukan. Pada suhu 350 °C selama 60 menit merupakan suhu dan waktu optimum pembentukkan karbon serta dengan lama waktu aktivasi 5 jam untuk karbon aktif optimum. Pencampuran karbon dengan CuO melalui refluk merupakan proses pembuatan material. Material komposit dengan perbandingan 3 gram karbon aktif : 7 gram CuO merupakan material terbaik dengan nilai konduktivitas listrik yang tinggi 0,4229 MΩ<sup>-1</sup> daya hantar panas yang rendah 0,9872 J/s serta tegangan listrik (efek *Seebeck*) yang tinggi 0,018 mV/K. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa terdapat tiga puncak utama berupa puncak –OH, C=C dan CuO. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa tidak ada zat baru yang terbentuk baik sebelum maupun sesudah aktivasi dan komposit. Hasil karakterisasi dengan UV-DRS menunjukkan bahwa energi gap dari material komposit yaitu 1.55 eV. Hasil karakterisasi XRD terhadap karbon aktif menunjukkan struktur amorf.

**Kata kunci:** Karbon Aktif, Tembaga (II) Oksida, Komposit, Material Termoelektrik

# **Utilization of Coconut Coir (*Cocos nucifera*) Activated Karbon as Thermoelectric Material for C/CuO System**

**Nanditho Azima Putra**

## **ABSTRACT**

The use of activated karbon from coconut fiber as a thermoelectric material has been successfully carried out. At a temperatur of 350 oC for 60 minutes is the optimum temperatur and time for karbon formation and the activation time is 5 hours for optimum activated karbon. Mixing karbon with CuO through reflux is a material manufacturing process. Composite material with a ratio of 3 grams of activated karbon: 7 grams of CuO is the best material with a high electrical conductivity value of 0.4229 MΩ- low thermal conductivity 0.9872 J/s and a high electrical voltage (Seebeck effect) 0.018 mV/K . The results of characterization by FTIR showed that there were three main peaks in the form of –OH, C=C and CuO peaks. The results of XRF characterization showed that no new substances were formed either before or after activation and composites. The results of the characterization with UV-DRS showed that the energy gap of the composite material was 1.55 eV. The results of XRD characterization of activated karbon showed an amorphous structure.

**Keywords:** Activated Karbon, Copper (II) Oxide, Composites, Thermoelectric Materials

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Karbon Aktif Limbah Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai Material Termoelektrik Sistem C/CuO”**.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mata kuliah skripsi di Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Kelancaran penulisan skripsi 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. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Dosen Penasehat Akademik sekaligus Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. rer. nat. Deski Beri, S.Si, M.Si dan Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Dosen Pembahas.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang sekaligus Ketua Prodi Kimia Universitas Negeri Padang.
4. Bapak dan Ibu staf pengajar serta seluruh staf akademik dan non akademik di Jurusan Kimia FMIPA UNP.
5. Orang tua penulis yang telah meridhoi dan mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

6. Teman – teman jurusan kimia angkatan 2018 yang telah memberikan masukan dan semangat kepada penulis selama pembuatan proposal penelitian.
7. Semua pihak terkait yang telah ikut berkontribusi dalam proposal penelitian ini.

Dalam penyusunan proposal ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Skripsi 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, Mei 2022

Nanditho Azima Putra

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah .....	5
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian .....	6
BAB II KERANGKA TEORITIS .....	7
A. Material Termoelektrik .....	7
1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik .....	7
2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektrik .....	8
B. Karbon Aktif .....	10
C. Sabut Kelapa .....	13
D. Tembaga (II) Oksida (CuO).....	15
E. Komposit.....	16
F. Karakterisasi .....	17
1. Analisa <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	17
2. Analisa <i>X – RayFluorescence</i> (XRF).....	18
3. Analisa <i>Diffuse Reflectance-UV</i> (DR-UV) .....	18
4. Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
A. Waktu dan Tempat.....	23
B. Objek Penelitian.....	23
C. Variabel Penelitian.....	23
D. Alat dan Bahan.....	24
1. Alat.....	24

2. Bahan .....	24
E. Prosedur Penelitian .....	24
1. Preparasi Karbon Aktif dari Sabut kelapa tua ( <i>Cocos nucifera</i> ) .....	25
2. Karbonisasi dan Aktivasi Sabut kelapa tua ( <i>Cocos nucifera</i> ).....	25
3. Pengujian Karakteristik Karbon Aktif .....	26
4. Preparasi Komposit Karbon Aktif/CuO.....	29
5. Pencetakan Material.....	29
6. Pengujian Komposit Karbon Aktif-CuO .....	30
7. Karakterisasi Komposit Karbon Aktif-CuO .....	32
F. Desain Penelitian .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
A. Karakterisasi Karbon dan Karbon Aktif Sabut Kelapa.....	35
B. Pengujian Konduktivitas Listrik .....	40
C. Pengujian Daya Hantar Panas .....	41
D. Pengujian Tegangan Listrik yang Dihasilkan ( <i>Efek Seebeck</i> ) .....	42
E. Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	43
F. Karakterisasi <i>X – Ray Fluorescence</i> (XRF).....	45
G. Karakterisasi <i>Ultra Violet – Diffuse Reflectance</i> (UV-DRS) .....	46
H. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	47
BAB V PENUTUP .....	48
A. Kesimpulan .....	48
B. Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49
LAMPIRAN.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan mutu arang aktif menurut SNI No. 06-3720-1995 (LIPI, 2000) ...	13
2. Komposisi Kimia Serat Sabut Kelapa.....	14
3. Sifat Khas CuO .....	16
4. Data XRF Karbon, Karbon Aktif dan Komposit Optimum .....	45
5. Kadar air karbonisasi pada temperatur 350°C.....	62
6. Kadar abu karbonisasi pada temperatur 350°C .....	63
7. Kadar abu karbonisasi pada temperatur 350°C .....	64
8. Kadar karbon terikat dan daya serap iod karbonisasi temperatur 350°C .....	65
9. Kadar air karbon aktif aktivator ZnCl <sub>2</sub> .....	68
10. Kadar abu karbon aktif aktivator ZnCl <sub>2</sub> .....	69
11. Kadar uap karbon aktif aktivator ZnCl <sub>2</sub> .....	70
12. Kadar karbon terikat dan daya serap iod karbon aktif aktivator ZnCl <sub>2</sub> .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Konsumsi Listrik Nasional.....	1
2. Percobaan Seebeck tentang fenomena termoelektrik (Velmre, 2010).....	7
3. Ilustrasi generator termoelektrik (Zheng, 2008) .....	9
5. Sabut Kelapa .....	14
6. (a) Struktur Lignin (b) Struktur Hemiselulosa (c) Struktur Pektin .....	15
7. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO).....	16
8. Skema Kerja FTIR .....	17
9. Grafik karakterisasi karbon sabut kelapa variasi waktu karbonisasi .....	35
10. Grafik karakterisasi karbon aktif sabut kelapa variasi lama aktivasi .....	37
11. Data daya serap iod karbon dan karbon aktif.....	39
12. Grafik Konduktivitas Listrik ( $M\Omega \cdot cm$ ) .....	40
13. Grafik Daya Hantar Panas (J/s).....	41
14. Grafik Pengujian Koefisien Efek Seebeck (mV/K) .....	43
15. FTIR Karbon, Karbon Aktif dan Komposit Optimum.....	44
16. Grafik Nilai Band Gap Komposit Karbon Aktif/CuO .....	46
17. XRD Karbon Aktif Optimum.....	48

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian .....	55
2. Perhitungan reagen.....	60
3. Data variasi karbonisasi .....	62
4. Data aktivasi karbon optimum menggunakan $ZnCl_2$ .....	68
5. Tabel Nilai Konduktivitas Listrik .....	74
6. Tabel Nilai Tegangan Listrik Yang Dihasilkan (Efek Seebeck).....	74
7. Tabel Nilai Daya Hantar Panas .....	75
8. Data Hasil Karakterisasi FTIR .....	76
9. Data Hasil Karakterisasi XRF .....	78
10. Data Hasil Karakterisasi UV-DRS .....	81
11. Data Hasil Karakterisasi XRD .....	83
12. Dokumentasi Hasil Penelitian .....	85

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Manusia tidak dapat dipisahkan dengan kebutuhan energi listrik dalam menjalani kehidupan. Sehingga dapat dipastikan terdapat peningkatan dalam konsumsi listrik nasional. Berdasarkan data dapat diketahui bahwasannya pada tahun 2019 (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

Indonesia sendiri juga memiliki berbagai macam sumber energi yang dapat digunakan sebagai energi pembangkit listrik. Pembangkit tersebut adalah 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).

Energi panas yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dapat diwujudkan dengan menggunakan efek *Seebeck*. Dalam penerapan efek *Seebeck* dibutuhkan sebuah material yang disebut material termoelektrik. Termoelektrik sendiri merupakan keterkaitan sebuah interaksi transportasi antara listrik dan panas dimana efek dari transportasi tersebut dapat dilihat berupa interaksi timbal balik (Zhao *et al.*, 2021). Saat ini bahan termoelektrik menjadi pusat perhatian dalam penelitian dikarenakan adanya kelimpahan energi dalam penggunaannya. Bahan dengan berbasis termoelektrik juga sudah diakui sebagai bahan yang menjanjikan untuk pembangkit listrik dengan harga bersaing, ramah lingkungan dan kepadatannya yang rendah (H. Huang *et al.*, 2021). Material termoelektrik juga berbeda dengan pembangkit listrik lainnya, hal ini dikarenakan material termoelektrik tidak memiliki hasil samping sehingga terlepas dari masalah pencemaran lingkungan (Kim *et al.*, 2021).

Material yang dapat digunakan sebagai material termoelektrik salah satunya yaitu karbon aktif. Karbon aktif mempunyai banyak keunggulan seperti biaya yang tidak mahal, tidak beracun serta memiliki luas permukaan yang tinggi (Kiani *et al.*, 2020). Namun karbon aktif saja belum efektif sebagai material termoelektrik, karena nilai konduktivitasnya listriknya yang rendah. Oleh karena itu karbon aktif harus dikompositkan dengan material lain yang memiliki

konduktivitas tinggi dan daya hantar panas tetap rendah seperti tembaga (II) oksida (CuO) (Alorabi *et al.*, 2020).

Karbon aktif bisa menggunakan banyak sumber yang berbeda. Salah satunya berupa penggunaan produk samping pertanian seperti sekam padi, almond, kemiri serta tempurung kelapa (Zhang *et al.*, 2017). Pemanfaatan limbah pertanian juga sudah terbukti dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan, ekonomis serta ramah lingkungan (Tobi dan Dennis, 2021). Serta keuntungan lainnya menggunakan limbah pertanian ini berupa ketersediaan bahan yang selalu ada tanpa biaya dan terbarukan tanpa memerlukan perawatan (Ogbodo *et al.*, 2021).

Salah satu contoh limbah pertanian yang belum banyak dimanfaatkan adalah sabut kelapa. Pada buah kelapa, sabut kelapa merupakan bagian yang mendominasi karena hampir 35 % dari berat buah kelapa merupakan sabut kelapa. Keberadaan limbah didukung dengan produksi rata rata buah kelapa di Indonesia sebanyak 15,5 milyar butir/tahun, sehingga material yang tersedia cukup banyak (Indahyani, 2011). Pada umumnya sabut kelapa hanya dimanfaatkan sebagai material untuk berkebun, sedangkan sabut sendiri dapat dijadikan sebagai sumber karbon karena memiliki kandungan lignin yang tinggi. Hal tersebut menjadi penunjang dalam menghasilkan karbon karena 60 % dari lignin memiliki kandungan karbon (Sesuk *et al.*, 2019). Oleh sebab itu peneliti tertarik untuk mengolah sabut kelapa sebagai sumber karbon material termoelektrik.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka penelitian kali ini berupa **“Pemanfaatan Karbon Aktif Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai Material**

**Termoelektrik Sistem C/CuO**". Penelitian dilakukan dengan metode aktivasi kimia serta karakteristik struktur dan morfologi arang aktif dianalisis menggunakan XRF (*X-ray Fluorescence*), pengamatan energi (*band gap*) yang dihasilkan dengan DR-UV (*Diffuse Reflectance – Ultra Violet*) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi. pengukuran tegangan dengan voltmeter. Penelitian ini diharapkan dapat tetap ramah lingkungan dan menjadi salah satu dari material termoelektrik kualitas terbaik.

## **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. Penggunaan material termoelektrik masih didominasi dengan penggunaan semikonduktor seperti CuO yang memiliki nilai daya hantar panas yang tinggi sehingga diperlukan material baru dengan daya hantar panas rendah.
3. Belum adanya pemanfaatan hasil samping atau limbah pertanian yang pada umumnya dibuang dan dibiarkan membusuk dalam hal ini seperti sabut kelapa.
4. Penggunaan komposit karbon aktif/CuO sebagai material termoelektrik masih dalam tahap penelitian belum tahap aplikasi.

### C. Batasan Masalah

Demi menjaga fokus utama dari penelitian ini, maka diberlakukan beberapa batasan masalah berikut:

1. Pemanfaatan limbah Sabut kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai bahan dasar karbon aktif untuk material termoelektrik.
2. Karbon aktif dari Sabut kelapa (*Cocos nucifera*) dikompositkan dengan CuO sebagai komposit termoelektrik.
3. Pengujian yang dilakukan terhadap komposit karbon aktif /CuO berupa konduktivitas listrik, efek *Seebeck* serta daya hantar panas.
4. Karakterisasi komposit karbon aktif/CuO dengan XRD, DR–UV dan voltmeter.

### D. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana melakukan preparasi karbon aktif dari Sabut kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai material termoelektrik?
2. Bagaimana membuat komposit karbon aktif dari Sabut kelapa (*Cocos nucifera*) dengan CuO sebagai material termoelektrik system C/CuO?
3. Bagaimana hasil pengujian dan karakteristik material termoelektrik Komposit Karbon Aktif/CuO?

### E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Preparasi material karbon aktif dari Sabut kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai material termoelektrik.
2. Membuat komposit karbon aktif/CuO sebagai material termoelektrik.
3. Melakukan pengujian dan karakterisasi pada material termoelektrik komposit karbon aktif/CuO.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi dan pengetahuan mengenai material termoelektrik dari karbon aktif/CuO.
2. Menambah wawasan mengenai alternatif energi listrik material termoelektrik.
3. Bisa dijadikan sebagai sumber referensi dan ide untuk penelitian lanjutan.

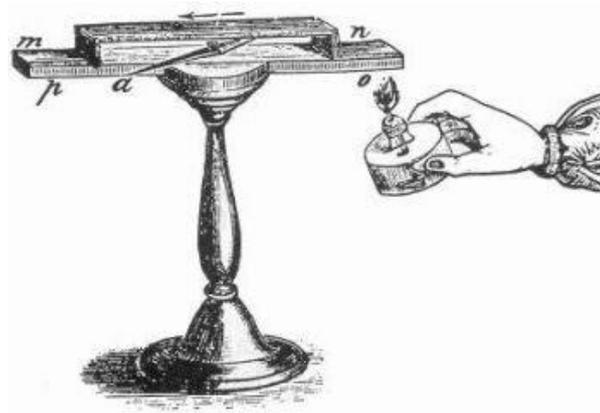
## BAB II

### KERANGKA TEORITIS

#### A. Material Termoelektrik

##### 1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik

Perangkat termoelektrik merupakan perangkat yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik. Hal ini ditemukan pada tahun 1821 dikenal dengan “efek *Seebeck*”. Fenomena tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan suhu yang dibuat antara ujung bagian yang panas dan bagian lainnya dingin pada bahan semikonduktor sehingga dihasilkan tegangan listrik yang merupakan tegangan *Seebeck* (Riffat dan Ma, 2003). Pada tahun 1823 *Seebeck* memaparkan hasil percobaannya. Dimana sebuah jarum kompas yang sudah ditempatkan di antara dua konduktor yang berbeda lalu ketika salah satunya dipanaskan maka jarum kompas tersebut bergerak (Rowe, 1995).



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

Pada abad ke-19 para peneliti sudah mencari macam macam generator termoelektrik yang efisien dan ekonomis. Dalam menemukan generator yang efisien merka berasumsi bahwasannya hal tersebut tergantung pada konstruksi

generator serta properti 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

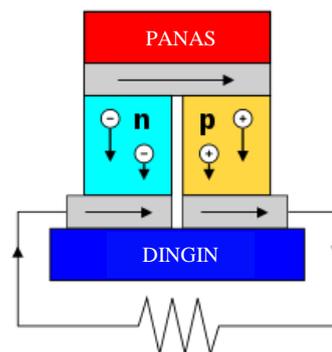
Material termoelektrik merupakan material dengan prinsip susunan dua tipe material termoelektrik yang berbeda dan kemudian disambungkan satu sama lain. Dalam termoelektrik sendiri terdapat 3 efek utama yaitu Efek *Seebeck*, Efek *Peltier* dan Efek *Thomson* (Riffat dan Ma, 2003). Efek *Seebeck* merupakan peristiwa terjadinya tegangan listrik antara sambungan dua bahan material yang berbeda ketika terdapat perbedaan temperatur. 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 termoelektrik
- T merupakan temperatur

Sekitar 12 tahun kemudian ditemukan efek komplementer oleh *Peltier* yang mengamati perubahan suhu di sekitar persimpangan konduktor yang berbeda saat arus lewat. Efek *Peltier* sendiri merupakan kebalikan dari efek *Seebeck* dimana terjadinya perbedaan suhu pada suatu material karena terdapat tegangan listrik (Rowe, 1995). Sedangkan efek *Thomson* merupakan keterkaitan perbedaan medan listrik dan arus termal reversible dalam 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)

Material logam dan semikonduktor mempunyai elektron dan *hole* sebagai pembawa muatan. Semikonduktor tipe-n merupakan yang kaya akan elektron ketika dipanaskan elektron – elektron tersebut akan bergerak menuju temperatur 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 temperatur tinggi ke rendah. Dengan terakumulasinya *hole* dan elektron pada temperatur 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 dan 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:

- $\sigma$  merupakan konduktivitas listrik
- $\alpha$  merupakan koefiesn *Seebeck*
- T merupakan temperatur operasi rata – rata
- K merupakan konduktivitas termal.

Idealnya konduktivitas listrik dan efek *Seebeck* 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).

## **B. Karbon Aktif**

Karbon aktif dapat menjadi salah satu media termoelektrik yang sangat efektif 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., dan 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).

Tahap – tahap dalam preparasi karbon aktif adalah sebagai berikut:

1. Dehidrasi

Dehidrasi bertujuan agar kandungan air dalam bahan baku karbon berkurang atau hilang. Bahan baku dijemur dengan memanfaatkan cahaya matahari atau pemanasan pada oven hingga di peroleh berat yang konstan (Tumimomor dan 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). Temperatur tinggi sangat

penting dalam karbonisasi, namun temperatur yang terlalu tinggi juga akan mengakibatkan adanya kandungan abu pada karbon, sehingga dalam hal ini perlu dilakukannya pembatasan temperatur. Terdapatnya abu pada saat karbonisasi akan mengakibatkan tersumbatnya pori – pori karbon sehingga luas permukaan menurun.

### 3. Aktivasi

Aktivasi bertujuan untuk memperluas luas permukaan, meningkatkan volume pori dan meningkatkan porositas karbon aktif. Aktivasi dapat dilakukan dengan aktivasi fisik, kimia dan gabungan antara aktivasi fisik dan kimia (fisikokimia). Dalam proses aktivasi terjadi pengembangan struktur mikropori, terbakarnya dinding diantara pori – pori mengakibatkan pori – pori menjadi lebih besar.

Dalam aktivasi fisik, penggunaan metode *steam* lebih dianjurkan dari pada CO<sub>2</sub>. Molekul air dengan ukuran lebih kecil akan mempermudah terjadinya difusi dalam struktur pori. Sedangkan pada aktivasi kimia, banyak menggunakan agen pengaktivasi seperti ZnCl<sub>2</sub>, HPO<sub>4</sub>, NaOH dan KOH. Pengembangan porositas pada aktivasi kimia terjadi karena proses dehidrasi dan degradasi (Nor *et al.*, 2013).

Beberapa faktor 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				
	Kadar Air	Kadar Abu	Kadar Uap	Karbon Terikat	Daya Serap Iod
Butiran	<4,5%	<2,5%	<15%	>80%	>750 mg/g
Serbuk	<15%	<10%	<25%	>65%	>750 mg/g

## C. Sabut Kelapa

Bagian yang masih jarang terpakai dari kelapa ini biasa disebut dengan sabut kelapa. Pada buah kelapa, sabut kelapa merupakan bagian yang mendominasi hal ini tentu saja terjadi karena 35% berat dari buah kelapa

merupakan berat dari sabut kelapa. Terdapatnya serat – serat dan gabus yang saling terhubung satu dengan yang lainnya merupakan asal mula terbentuknya sabut (Zuhroh *et al.*, 2016).

Sabut kelapa merupakan bagian sabut pada mesokarp buah. Sabut kelapa sering dimanfaatkan sebagai bahan baku membuat kursi, tali dan tikar serta sebagai bahan bakar. Karbon aktif pada penelitian ini juga dapat menggunakan sumber dari sabut kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai material termoelektrik tanpa mengeluarkan biaya yang terlalu besar. Penggunaan limbah sabut kelapa juga dapat menjadi solusi terhadap penumpukan limbah organik sabut kelapa dan pengolahan air limbah (Tan *et al.*, 2008)



Gambar 4. Sabut Kelapa

Sabut kelapa memiliki lignin, selulosa, potassium, pyroligneous acid, tannin, arang, gas dan hemiselulosa. Satu butir buah kelapa mengandung 525 gram serat (75% dari sabut) dan 175 gram serbuk sabut kelapa (25% dari sabut)

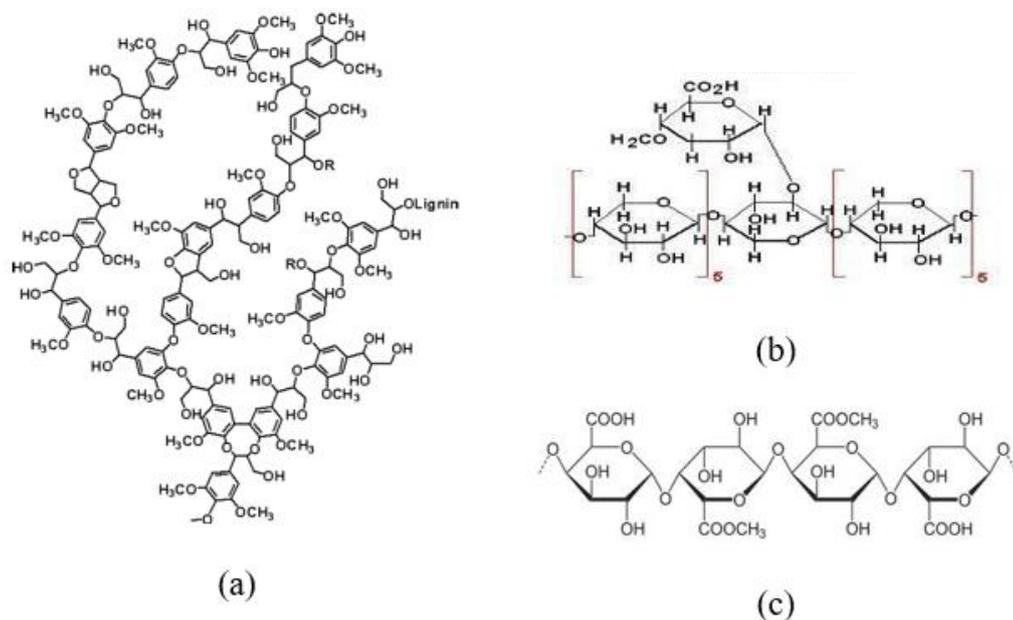
Tabel 2. Komposisi Kimia Serat Sabut Kelapa

Parameter	Kadar %
Selulosa	26,6
Hemiselulsoa	27,7
Lignin	29,4
Air	8
Komponen Ekstraktif	4,2

Unsur Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Abu	0,5

(Hanum, 2015)

Sabut kelapa terdapat banyak kandungan lignoselulosa. Kandungan tersebut terdiri dari pektin (2%), lignin (16 – 45%), hemiselulosa (24 – 47%) dan selulosa (32,69%). Kelompok fenolik dan karboksilat dari hemiselulosa, pektin dan lignin merupakan zat utama dalam pengikatan logam (Chaudhuri *et al.*, 2010)



Gambar 5. (a) Struktur Lignin (b) Struktur Hemiselulosa (c) Struktur Pektin

#### D. Tembaga (II) Oksida (CuO)

Oksida logam transisi terdiri dari berbagai macam jenis seperti Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, ZnO, CuO dan banyak lainnya. Oksida logam tersebut berpotensi sebagai semikonduktor dan katalis.



Gambar 6. 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 tabel 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. Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua bahan dasar yang umumnya digunakan sebagai sebuah structural material. Bahan dasar komposit biasanya memiliki sifat yang khas serta gabungan bahan dasar tersebut memungkinkan

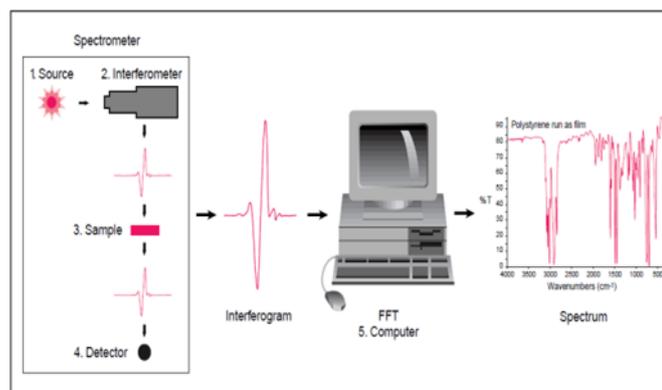
komposit memiliki sifat yang belum pernah ada sebelumnya. Meskipun ruang percobaan komposit yang luas, metode tradisional dalam pembuatan komposit memiliki keterbatasan. Di masa lalu, komposit yang lebih kompleks sulit untuk diwujudkan (Chen dan Gu, 2019).

Pada komposit terdapat konstituen matriks yang akan bertindak memperkuat fase tempat ia tertanam. Matriks dalam komposit berfungsi melindungi, mentransfer beban, memberikan ketangguhan atau kekuatan dan memberikan bentuk ke bagian komposit pada material. Sebagai perbandingan antara logam dan komposit, komposit memiliki beberapa keuntungan seperti tinggi kekakuan dan kekuatan tertentu serta ringan (Sugiarto, 2012).

## F. Karakterisasi

### 1. Analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

*Fourier Transform Infra Red* merupakan teknik yang dapat digunakan untuk menyelidiki perubahan molekuler senyawa. Metode ini digunakan untuk menentukan gugus fungsi, jenis ikatan, dan konformasi molekul secara tepat dan akurat. Puncak FTIR relatif sempit dan dalam banyak kasus dapat dikaitkan dengan getaran ikatan kimia tertentu dalam molekul (Movasaghi et al., 2008).



Gambar 7. Skema Kerja FTIR

Prinsip kerja FTIR didasarkan pada besarnya penyerapan cahaya oleh suatu sampel. Jika radiasi infra merah telah melewati sampel maka energi radiasi akan terserap oleh molekul sehingga terjadinya perpindahan antara vibrasi dasar dan vibrasi tereksitasi. Spektrum yang terbentuk akan memberikan informasi tentang gugus fungsi suatu molekul. Analisis yang digunakan adalah menentukan konsentrasi senyawa dengan menggunakan prinsip hukum Lambert-Beer. Pengukuran dengan FTIR tergantung pada kemurnian sampel, karena jika sampel mengandung pengotor, puncak spektrum yang dihasilkan akan melebar karena adanya gugus fungsi lain yang masih terkandung dalam beberapa senyawa tersebut.

## **2. Analisa *X – Ray Fluorescence (XRF)***

*X-Ray Fluorescence* karakterisasi dengan prinsip analisa non-destruktif yang dimanfaatkan dalam menentukan komposisi unsur suatu material dengan sampel berupa padatan, bubuk ataupun cairan.

Analisis XRF menggunakan sinar – X dengan energi yang tinggi agar dapat melawan elektron yang berada pada tingkat energi rendah pada sampel sehingga elektron membuat perubahan untuk memenuhi posisi elektron tereksitasi, disertai dengan transmisi ulang sinar – X karakteristik dengan energi terendah (Setiabudi, 2012).

## **3. Analisa *Diffuse Reflectance-UV (DR-UV)***

Instrumen *Diffuse Reflectance-UV (DR-UV)* berfungsi untuk mengetahui energy band gap suatu material dengan perhitungan hasil %R dan absorbansinya. Pengukuran ini berdasarkan terhadap intensitas sinar UV dan Visible yang

direfleksikan oleh material yang diuji. Prinsip dari instrumen ini berdasarkan lapisan material yang diradiasikan oleh foton sehingga material menghamburkan atau menyerap foton (Saba, 2019)

Analisa ini bertujuan untuk mendapatkan informasi seberapa besar *band gap* yang dihasilkan. *Band gap* merupakan jarak antara pita yang penuh dengan elektron biasa disebut pita valensi dengan pita dengan kekosongan elektron biasa disebut pita konduksi. Nilai *band gap* dari material semikonduktor merupakan salah satu yang sangat dipertimbangkan karena akan mempengaruhi kinerja bahan semikonduktor dalam transportasi 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).

Secara umum, energi celah pita suatu semikonduktor memiliki nilai  $h\nu$  pada  $(F(R')h\nu)^{1/2} - 0$ , hal ini diperoleh dari persamaan regresi linier dari kurva. Energi celah pita dapat diperoleh dengan menghitung perubahan besaran %R menjadi faktor Kubelka-Munk ( $F(R)$ ) sebagai berikut: (Sanjaya, 2017):

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3)$$

$F(R) = \text{Kubelka-Munk}$

$K = \text{koefisien molar absorbansi}$

$S = \text{faktor scattering}$

$R = \text{Reflektan}$

Energi celah pita dapat diperoleh dari 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):

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (4)$$

Dimana:

$E_g$  = energi celah pita (eV)

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

$c$  = kecepatan cahaya ketika di udara

$\lambda$  = panjang gelombang (nm)

#### **4. 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. Susunan 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 merupakan teknik untuk menentukan struktur kristal dimana kristal menyebabkan seberkas insiden sinar-X dan difraksi ke banyak arah tertentu dengan radiasi elektromagnetik (jangkauan) (0,01 – 0,7 nm) lalu mengukur sudut dan intensitas balok difraksi. Bahan kristal terdiri dari atom yang tersusun dalam pola tiga dimensi yang teratur disebut sebagai struktur kristal. Jenis – jenis struktur kristal seperti kubik, tetragonal, ortorombik, belah ketupat, heksagonal, monoklinik dan triklinik sedangkan dalam bahan amorf atom tidak diatur secara teratur secara periodik dengan urutan jangka pendek (Vassilev et al., 2017).

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):

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (5)$$

Dimana:

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X

n = orde refleksi

d = jarak antara dua bidang kisi

$\theta$  = 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

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan:

1. Karbon aktif optimum dengan suhu karbonisasi 350 °C waktu 60 menit dan lama aktivasi 5 jam dengan ZnCl 25% sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995)
2. Material komposit dengan perbandingan 3 gram karbon aktif : 7 gram CuO (KC 3) merupakan material terbaik memiliki nilai konduktivitas listrik tinggi sebesar 0,4229 MΩ- konduktivitas termal rendah 0,9872 J/s dan tegangan listrik (Efek Seebeck) tinggi 0,018 mV/K
3. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa terdapat tiga puncak utama berupa puncak –OH, C=C dan CuO. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa tidak ada zat baru yang terbentuk baik sebelum maupun sesudah aktivasi dan komposit. Hasil karakterisasi dengan UV-DRS menunjukkan bahwa *band gap* dari material komposit yaitu 1.55 eV. Hasil karakterisasi XRD terhadap karbon aktif menunjukkan struktur amorf.

#### B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan:

1. Menggunakan instrumentasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk memastikan struktur morfologi karbon sebelum dan sesudah aktivasi.
2. Material termoelektrik yang dibuat dapat dilanjutkan pada tahap aplikasi pembuatan generator termoelektrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alorabi, A. Q., Shamshi Hassan, M., dan Azizi, M. (2020). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-CuO-activated karbon 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., dan 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., dan 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., dan Putra, A. (2020). Preparation and Characterization Composites of Activated Karbon from Cassava Peel (Manihot Utilisima) - 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](https://www.ijrrjournal.com/IJRR_Vol.7_Issue.9_Sep2020/IJRR007.pdf)
- Brahma, S. K., Boit, C., dan 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>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, dan Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cai, Y., Liu, D., Yang, J. J., Wang, Y., dan 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., dan Yusop, S. H. (2010). Copper and cadmium adsorption by activated karbon prepared from coconut coir. *Nature Environment and Pollution Technology*, 9(1), 25–28.
- Chen, C. T., dan Gu, G. X. (2019). Machine learning for composite materials. *MRS Communications*, 9(2), 556–566. <https://doi.org/10.1557/mrc.2019.32>
- Fredina, D., Andi, S., Achmad, S., dan Nanik, I. (2010). Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Struktur dan Konduktivitas Listrik Arang Serabut Kelapa. *10(242)*, 122–132.
- Fredina Destyorini Hiroshi Uyama (2021). *Formation of nanostructured graphitic karbon from coconut waste.*