

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF KULIT NANAS
(*Ananas comosus* L. Merr) SEBAGAI MATERIAL
TERMOELEKTRIK SISTEM C-CuO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar

Sarjana Sains



Oleh:
LINA NOVIA
NIM/TM. 18036129/2018

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

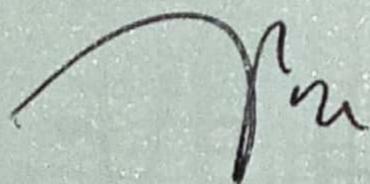
2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Nanas (*Ananas comosus* L.
Merr) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C-CuO
Nama : Lina Novia
NIM : 18036129
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

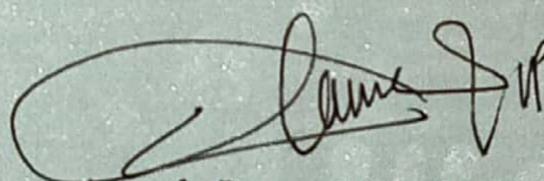
Padang, November 2022

Mengetahui :
Kepala Departemen Kimia



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

Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing



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

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

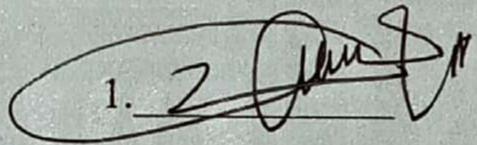
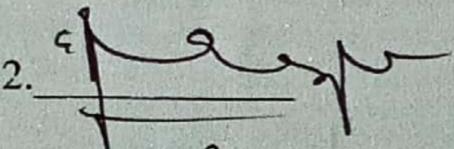
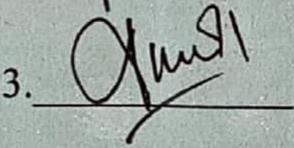
Nama : Lina Novia
TM/NIM : 2018/18036129
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PEMANFAATAN KARBON AKTIF KULIT NANAS (*Ananas comosus* L. Merr) 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, November 2022

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D	1. 
2	Anggota	Edi Nasra, S.Si., M.Si	2. 
3	Anggota	Trisna Kumala Sari, M.Si., Ph.D	3. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

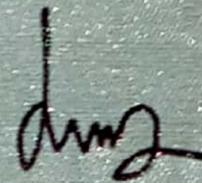
Nama : Lina Novia
NIM : 18036129
Tempat/Tanggal Lahir : Koto Panjang/ 2 November 1999
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Nanas (*Ananas comosus*
L. Merr) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C-CuO

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 ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali 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 telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran 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, November 2022
Yang Menyatakan



Lina Novia
NIM : 18036129

Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C-CuO

Lina Novia

ABSTRAK

Material termoelektrik adalah material yang dapat digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Pada penelitian ini dilakukan pemanfaatan karbon aktif dari suatu limbah kulit nanas (*Ananas comosus* L. Merr) sebagai material termoelektrik. Kandungan seperti lignin, selulosa dan hemiselulosa pada kulit nanas dapat di jadikan sumber karbon yang sangat baik. Karbon aktif kulit nanas dibuat dengan cara dikarbonisasi pada suhu 350°C selama 60 menit serta diaktivasi menggunakan ZnCl₂ 15% selama 7 jam, setelah itu karbon aktif kulit nanas dikompositkan dengan CuO dengan berbagai variasi massa (gram) dan variasi ketebalan material komposit. Material komposit dilakukan pengujian daya hantar panas, pengujian konduktivitas listrik serta pengujian tegangan listrik (*efek seebeck*). Hasil yang didapatkan bahwa 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 terbaik sebab memiliki nilai konduktivitas listrik tinggi 0,1125 mS.cm⁻¹, daya hantar panas yang rendah 13,65 J/s serta memiliki tegangan listrik tinggi (*efek seebeck*) sebesar 0,0159 μV/K. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa bentuk struktur dari komposit karbon aktif – CuO berbentuk amorf kristal yang tidak merubah bentuk kristal dari CuO, ukuran kristal (D) sebesar 27,1770 nm dengan kisi kristalnya (d) 0,2522 nm. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan tidak ada zat baru yang terbentuk baik sebelum maupun sesudah aktivasi dan saat dikompositkan. Hasil karakterisasi UV-DRS menunjukkan komposit karbon aktif-CuO memiliki band gap 3 eV.

Kata kunci: Karbon aktif, kulit nanas, tembaga (II) oksida, material termoelektrik

Utilization of Activated Carbon Pineapple Peel (*Ananas Comosus* L. Merr) as a Thermoelectric Material for C-CUO System

Lina Novia

ABSTRAK

Thermoelectric material is a material that can be used to convert heat energy into electrical energy. In this study, the use of activated carbon from a pineapple skin waste (*Ananas Comosus* L. Merr) as a thermoelectric material. The womb like lignin, cellulose and hemicellulose on pineapple skin can be made a very good carbon source. Activated carbon pineapple skin is made by a manner of a 350 °C with a temperature of 350 °C for 60 minutes and activated using ZnCl₂ 15% for 7 hours, after that pineapple skin active carbon is compiled with CuO with various mass variations (grams) and variations in material thickness composite material is carried out by heat investment, electrical conductivity testing and electrical voltage testing (*effect seebeck*). The results obtained that Composite Material Comparison of 3 grams of activated carbon : 7 grams of cuo with material size 3 cm x 3 cm x 0,5 cm is the best thermoelectric composite material because it has a high electrical conductivity value of 0.1125 mS.cm⁻¹, heat capacity The results of the XRD characterization show that the form of the structure of the active carbon composite - CuO in the form of an amorphous crystal that does not change the crystal shape of CuO, the size of the crystal (D) of 27.1770 nm with the crystal lattice (d) 0.2522 nm. The results of the XRF characterization show no new substances formed both before and after activation and when compiled. The results of the UV-Drs characterization show the active carbon composite-CuO has a 3 eV gap band.

Keywords : Activated carbon, pineapple peel, copper (II) oxide, thermoelectric material

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Nanas (*Ananas comosus L. Merr*) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C-CuO”**.

Skripsi ini ditulis demi memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dalam penulisan skripsi ini penulis mendapatkan banyak bimbingan dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih 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 Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D selaku penasehat akademik sekaligus pembimbing penelitian.
3. Bapak Edi Nasra, S.Si., M.Si dan Ibuk Trisna Kumala Sari, M.Si., Ph.D selaku dosen pembahas.
4. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Program Studi Kimia dan Kepala Departemen Kimia FMIPA UNP.
5. Orang tua penulis yang telah meridhoi dan mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Skripsi Non Kependidikan 2019 Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini mungkin jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran guna untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini, agar dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Wassalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Padang, November 2022

Lina Novia

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB 1 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 TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Material Termoelektrik.....	7
1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik	7
2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektik	8
3. Jenis-jenis Material Termoelektrik	10
4. Aplikasi Material Termoelektrik	12
B. Karbon Aktif	14
C. Kulit Nanas	17
D. Tembaga (II) Oksida (CuO).....	18
E. Komposit	19
F. Karakterisasi	19
1. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)	19
2. Analisa DR-UV	21
3. Analisa XRF	22
BAB III METODELOGI PENELITIAN	24
A. Waktu dan Tempat	24
B. Objek Penelitian	24
C. Variabel Penelitian	24

D. Alat dan Bahan.....	25
1. Alat	25
2. Bahan	25
E. Prosedur Penelitian.....	25
1. Preparasi Karbon Aktif dari Kulit Nanas (<i>Ananas comosus</i> L. Merr)	26
2. Karbonisasi dan Aktivasi Kulit Nanas (<i>Ananas comosus</i> L. Merr) ...	26
3. Pengujian Karakterisasi Karbon Aktif.....	26
4. Preparasi Komposit Karbon Aktif -CuO.....	29
5. Pencetakan Material.....	29
6. Pengujian Komposit Karbon Aktif	30
7. Karakterisasi Komposit Karbon Aktif-CuO.....	32
F. Desain penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. Preparasi Karbon Aktif Kulit Nanas (<i>Ananas comosus</i> L. Merr)	34
B. Karbonisasi, Aktivasi dan Karakterisasi Karbon Aktif	34
C. Percetakan Material Komposit Karbon Aktif – CuO	37
D. Pengujian Konduktivitas Listrik Perbandingan Massa	38
E. Pengujian Daya Hantar Panas Perbandingan Massa	39
F. Pengujian Tegangan Listrik (Efek Seebeck) Perbandingan Massa	40
G. Pengujian Konduktivitas Listrik Variasi Ketebalan.....	41
H. Pengujian Daya Hantar Panas Variasi Ketebalan	42
I. Pengujian Tegangan Listrik yang Dihasilkan (Efek Seeback) Variasi Ketebalan	42
J. Karakterisasi dengan X-Ray Diffraction (XRD)	43
K. Karakterisasi dengan X-Ray Fluorescence (XRF).....	45
L. Karakterisasi dengan UV - Diffuse Reflectance (UV-DRS)	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
A. Kesimpulan	49
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Persyaratan mutu arang aktif menurut SNI (LIPI, 2000)	16
Tabel 2. Sifat Khas CuO	18
Tabel 3. Hasil XRF	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Percobaan seebeck tentang fenomena termoelektrik (Velmre, 2010) ...	7
Gambar 2. Ilustrasi generator termoelektrik (Zheng, 2008).....	9
Gambar 3. Ilustrasi material termoelektrik material logam	11
Gambar 4. (a) Karbon aktif pada karbon grafit amorf (b) Struktur heksagonal layer dan grafit (c) Gugus fungsi permukaan karbon aktif (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006).....	14
Gambar 5. Kulit Nanas (Dokumentasi pribadi, 2022)	17
Gambar 6. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO)	18
Gambar 7. Grafik Karakteristik Karbonisasi Kulit Nanas Variasi Waktu	34
Gambar 8. Grafik Variasi Waktu Perendaman Karbon Aktif Kulit Nanas.....	35
Gambar 9. Grafik Uji Daya Serap Iodin	36
Gambar 10. Grafik Konduktivitas Listrik Perbandingan Massa	38
Gambar 11. Grafik Daya Hantar Panas Perbandingan Massa.....	39
Gambar 13. Grafik Konduktivitas Listrik Variasi Ketebalan	41
Gambar 14. Grafik Daya Hantar Panas Variasi Ketebalan	42
Gambar 15. Grafik Tegangan Listrik (<i>efek seebeck</i>) Variasi Ketebalan	43
Gambar 16. Spektrum XRD :(a) Karbon Optimum (b) Karbon Aktif Optimum (c) Komposit Karbon Aktif-CuO (d) CuO Murni	45
Gambar 17. Grafik Nilai Band Gap Karbon Aktif-CuO	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Preparasi, karbonisasi dan aktivasi kulit nanas menjadi karbon aktif	55
Lampiran 2. Pengujian karakteristik karbon aktif	55
Lampiran 3. Preparasi komposit karbon aktif – CuO dan pencetakan material....	55
Lampiran 4. Pengujian konduktivitas listrik (MΩ-.cm-)	57
Lampiran 5. Pengujian daya hantar panas (J/s)	57
Lampiran 6. Pengujian tegangan listrik yang dihasilkan (efek Seebeck)	58
Lampiran 7. Analisa X-Ray Diffraction (XRD)	58
Lampiran 8. Analisa DR-UV	58
Lampiran 9. Analisa X-Ray Fluorescence (XRF)	59
Lampiran 10. Perhitungan reagen.....	60
Lampiran 11. Perhitungan Karakterisasi Variasi waktu Karbonisasi Kulit Nanas Pada Suhu 350 ⁰ C.....	61
Lampiran 12. Hasil Karakteristik Variasi waktu Karbonisasi Kulit Nanas	74
Lampiran 13. Nilai Konduktivitas Listrik.....	75
Lampiran 14. Hasil Daya Hantar Panas	75
Lampiran 15. Nilai Tegangan Listrik yang dihasilkan (Efek Seebeck).....	77
Lampiran 16. Data Hasil Karakterisasi XRD	78
Lampiran 17. Data Hasil Karakterisasi XRF.....	86
Lampiran 18. Data Hasil Karakterisasi UV-DRS	89
Lampiran 19. Dokumentasi Penelitian.....	90

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting sehingga tidak bisa lepas dalam kehidupan manusia sehari-hari, hal ini dikarenakan hampir semua benda diaktifkan dan digerakan menggunakan energi listrik. Permintaan energi listrik meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi serta berkembangnya pusat-pusat perindustrian. Hal inilah yang membuat kebutuhan energi listrik menjadi tidak sebanding dengan pasokan listrik yang tersedia di indonesia.

Berdasarkan letak geografisnya, wilayah indonesia terletak digaris katulistiwa. Dalam sebuah penelitian mengatakan wilayah indonesia sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai energi surya karena intensitas radiasi matahari di seluruh wilayah indonesia hampir mencapai 4,8 kWh/m² (Irawan, 2005). Akan tetapi, sampai saat ini indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber listrik seperti batu bara dan bahan bakar minyak lainnya yang dapat habis jika digunakan secara terus menerus. Oleh sebab itu, untuk menghemat bahan bakar fosil yang ada maka diperlukan suatu upaya pengembangan energi listrik terbarukan (Shepta, 2012). Salah satu sumber energi listrik adalah energi panas.

Energi panas dapat bersumber dari sinar matahari, panas bumi, panas pembakaran dan lainnya. Akan tetapi sebagian besar energi panas tidak dimanfaatkan secara maksimal sehingga terbuang begitu saja, contoh sumber energi

yang berasal dari limbah industri (pabrik), kendaraan bermotor (otomotif), serta pemakaian AC (air conditioning).

Selama ini energi panas yang belum dimanfaatkan dapat dikonversi menjadi energi listrik. Dalam skala aplikasi besar, diharapkan bisa digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk bisa diganti dengan energi yang bersifat tak terbarukan dan sejajar dengan sumber energi alternatif lainnya seperti energi surya, tenaga udara, energi angin, energi berbahan bakar biogas serta energi nuklir (Sutjahja, 2011). Maka dari itu, kita membutuhkan sebuah pengembangan energi listrik alternatif diantaranya dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik dengan memanfaatkan material termoelektrik.

Material termoelektrik dapat digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik melalui efek Seebeck (Zhang et al., 2017). Efek seebeck adalah sebuah fenomena yang mengakibatkan munculnya tegangan listrik akibat perbedaan temperatur pada suatu sambungan dari dua buah material yang tidak sama. Material termoelektrik memiliki efek Seebeck dan konduktivitas listrik yang tinggi tetapi konduktivitas panasnya yang rendah. Kenyataannya jika konduktivitas listrik material tinggi maka konduktivitas panasnya juga akan tinggi, hal inilah yang menyebabkan material tersebut sangat sulit didapatkan. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai material termoelektrik adalah karbon aktif.

Karbon aktif adalah zat padat berpori yang mengandung 85% - 95% karbon. Karbon aktif dapat diproduksi dengan memanaskan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi (Viena et al., 2018). Keunggulan dari karbon aktif yaitu harganya yang murah, tidak beracun, dan memiliki luas permukaan yang besar

(Kiani et al., 2020). Akibat konduktivitas listrik yang rendah membuat karbon aktif saja tidak efektif digunakan sebagai material termoelektrik. Oleh karena itu, karbon aktif harus dikomposit dengan bahan lain yang memiliki konduktivitas listrik tinggi dan konduktivitas termal rendah, seperti tembaga (II) oksida (CuO) (Alorabi et al., 2020). CuO adalah suatu senyawa tembaga oksida yang merupakan bahan semikonduktor tipe-p dengan band gap 1,2 eV (Johan et al., 2011). CuO sendiri diaplikasikan sebagai gas sensor, katalis, baterai, superkonduktor suhu tinggi, konversi energi surya serta bidang emisi (Ghane et al, 2010). Pada penelitian ini CuO akan digunakan sebagai material termoelektrik yang akan dikompositkan dengan karbon aktif.

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung unsur karbon. Salah satu bahan yang mengandung unsur karbon adalah kulit nanas. Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) merupakan buah tropis yang tumbuh cukup banyak di Indonesia dengan persebaran yang cukup merata. Menurut data Badan Pusat Statistik tahun 2018, produksi buah nanas tahun 2018 sebanyak 1.805.449 ton, sehingga diperoleh limbah dari produksi nanas tersebut sebanyak 27% dari total produksi nanas tersebut (Nurhayati dan Berliana, 2014). Kenyataannya limbah kulit nanas kurang dimanfaatkan dan dibuang begitu saja, padahal senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terkandung dalam kulit nanas berpotensi untuk digunakan sebagai sumber karbon. Pembuatan atau pengembangan bahan baku karbon aktif telah banyak dilakukan, seperti karbon aktif dari tempurung kelapa, aneka kayu dan bambu, batu bara dan bahan-bahan dengan kandungan karbon yang lebih tinggi (Miranti, 2012). Oleh sebab itu peneliti tertarik untuk menjadikan kulit nanas sebagai sumber karbon material termoelektrik.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka penelitian ini dilakukan dalam bentuk “Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C–CuO”. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode aktivasi kimia serta karakteristik struktur dan morfologi karbon aktif dianalisis menggunakan XRD (X-ray Diffraction), DR-UV (Diffuse Reflection-Ultraviolet) pengamatan energi yang dihasilkan (band gap), dan pengukuran tegangan menggunakan voltmeter. Penelitian ini diharapkan tetap ramah lingkungan dan menjadi salah satu material termoelektrik dengan kualitas terbaik.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat diambil beberapa indentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Kebutuhan energi listrik meningkat namun pasokan listrik sedikit, sehingga dibutuhkan energi listrik yang terbarukan serta ramah lingkungan.
2. Masih banyak sumber energi listrik yang belum dimanfaatkan, seperti energi panas.
3. Penggunaan material termoelektrik masih didominasi dengan penggunaan semikonduktor seperti CuO dengan daya hantar panas tinggi, sehingga dibutuhkan material baru dengan daya hantar panas rendah.
4. Pengembangan material termoelektrik menggunakan komposit karbon aktif – CuO masih dalam tahap penelitian dan belum maksimal pada tahap aplikasi.

C. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini diperlukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Pemanfaatan limbah Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) sebagai bahan dasar karbon aktif untuk material termoelektrik.
2. Karbon aktif dari Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) dikompositkan dengan CuO sebagai komposit termoelektik.
3. Pengujian yang dilakukan terhadap komposit karbon aktif – CuO berupa konduktifitas listrik, efek *seebeck* serta daya hantar panas.
4. Karakterisasi komposit karbon aktif-CuO dengan XRD, XRF dan DR–UV.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian diatas, maka penulis merumuskan suatu masalah yaitu:

1. Bagaimana melakukan preparasi karbon aktif dari kulit nanas (*Ananas comosus* L. Merr) sebagai bahan termoelektrik?
2. Bagaimana membuat komposit karbon aktif dari kulit nanas (*Ananas comosus* L. Merr) dengan CuO sebagai material termoelektrik sistem C–CuO?
3. Bagaimana hasil pengujian dan karakterisasi material termoelektrik komposit Karbon Aktif – CuO?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Melakukan preparasi material karbon aktif dari kulit nanas (*Ananas comosus* L. Merr) sebagai bahan 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 sebagai berikut :

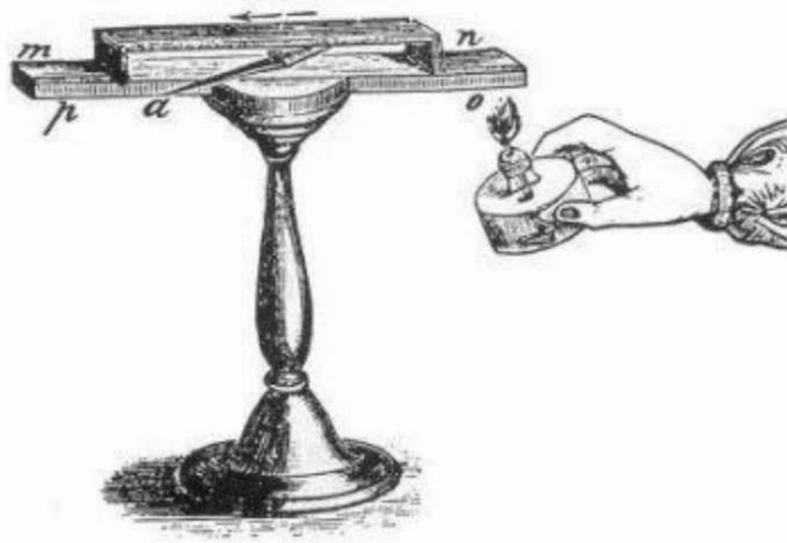
1. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang material termoelektrik dari karbon aktif - CuO.
2. Menambah wawasan tentang alternatif energi listrik material termoelektrik.
3. Bisa dijadikan sebagai sumber ide dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Material Termoelektrik

1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik

Perangkat termoelektrik adalah perangkat yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik. Ditemukan pada tahun 1821 yang disebut dengan "*efek Seebeck*". Fenomena ini dapat terjadi karena perbedaan suhu antara ujung bagian yang panas dan ujung lainnya dingin dari bahan semikonduktor, sehingga menghasilkan tegangan listrik yang merupakan tegangan *Seebeck* (Riffat & Ma, 2003). Pada tahun 1823, *Seebeck* mempresentasikan hasil eksperimennya. Ketika jarum kompas ditempatkan di antara dua konduktor yang berbeda, jarum kompas bergerak saat salah satunya dipanaskan (Rowe, 1995).



Gambar 1. Percobaan seebeck tentang fenomena termoelektrik (Velmre, 2010)

Selama abad ke-19, para peneliti mencari berbagai generator termoelektrik yang efisien dan ekonomis. Ketika mencari generator efisiensi tinggi, mereka berasumsi bahwa itu tergantung pada struktur generator dan sifat termoelektriknya. Namun, pada tahun 1909 Edmund Altenkirch menunjukkan secara matematis ada

hubungan antara fisik dan sifat termoelektrik dengan efisiensi. Pada tahun 1913 W.W. Coblentz juga melakukan studi termoelektrik menggunakan tembaga dan campuran nikel dan tembaga. Hal ini menghasilkan efisiensi 0,008% dan mampu menghasilkan energi listrik 0,6 mW. A.F. Loffe kemudian menggunakan bahan semikonduktor dari kelompok II - V, IV - VI, V - VI yang saat ini sedang dikembangkan. Loffe menemukan bahwa efisiensi meningkat menjadi 4%, sehingga hasil penelitian ini dibukukan pada tahun 1956 (Polozine *et al.*, 2014).

2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektik

Material termoelektrik adalah material yang memiliki prinsip bahwa dua jenis material termoelektrik yang berbeda disusun dan kemudian dihubungkan satu sama lain. Termoelektrik sendiri memiliki 3 efek utama yaitu efek *Seebeck*, efek *Peltier* dan efek *Thomson* (Riffat & Ma, 2003). Efek *Seebeck* adalah tegangan yang dibuat antara sambungan dua bahan yang berbeda ketika terdapat perbedaan suhu. Oleh karena itu, arus yang dihasilkan dapat diketahui dengan persamaan berikut (Brahma *et al.*, 2005):

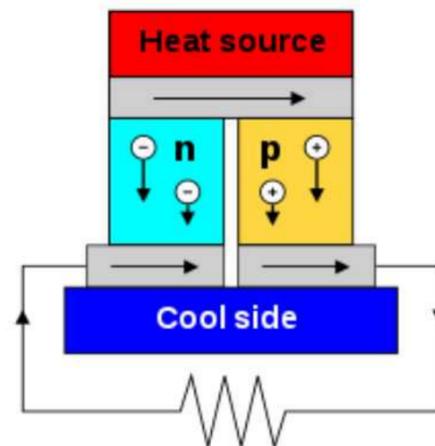
$$S = \frac{dV}{dT} \quad (1)$$

Dimana:

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

Sekitar 12 tahun kemudian, *Peltier* menemukan efek komplementer saat mengamati perubahan suhu di sekitar persimpangan konduktor yang berbeda saat arus dilewatkan. Efek *Peltier* sendiri merupakan kebalikan dari efek *Seebeck*, yaitu memiliki perbedaan suhu pada suatu materi karena adanya tegangan listrik (Rowe,

1995). Sedangkan efek *Thomson* adalah penghubung antara perbedaan medan listrik dengan arus termal reversible dalam suatu konduktor homogen. Penerapan efek termoelektrik dalam aplikasi termoelektrik dalam modul di mana efek *Seebeck* pada generator termoelektrik dan efek *Peltier* pada pendingin termoelektrik.



Gambar 2. Ilustrasi generator termoelektrik (Zheng, 2008)

Seperti dilihat pada gambar di atas, generator termoelektrik adalah jenis material yang berguna untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Dengan cara menempatkan material termoelektrik lalu menghubungkan sumber panas dan sumber dingin. Sehingga rangkaian tersebut menghasilkan arus listrik yang tergantung pada jenis bahan yang digunakan (Riffat & Ma, 2003).

Logam dan semikonduktor memiliki elektron dan lubang yang bertindak sebagai pembawa muatan. Semikonduktor tipe-n adalah semikonduktor yang kaya akan elektron, jika dipanaskan elektron akan bergerak menuju temperatur yang lebih rendah. Lubang semikonduktor tipe-P yang menerima energi panas akan bergabung serta menarik elektron dari suhu yang lebih rendah, sehingga lubang ini bergerak dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah. Pada suhu rendah ini, ketika lubang dan elektron terakumulasi maka mengakibatkan adanya perbedaan potensial sehingga arus dapat mengalir.

Material termoelektrik yang baik saat ini digunakan dalam perangkat yaitu yang memiliki nilai $ZT \approx 1$, dimana jika semakin tinggi maka sifat termoelektrik juga semakin baik (Tritt & Subramanian, 2006). Standar untuk pengembangan material termoelektrik disebut *figure of merit* (ZT), yang dapat dinyatakan dengan rumus 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

Idealnya material termoelektrik memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan *efek Seebeck* tinggi, tetapi konduktivitas panas rendah. Material termoelektrik dengan kriteria tersebut masih sulit ditemukan. Hal ini dikarenakan jika daya hantar listrik suatu material tinggi, maka daya hantar panasnya juga tinggi (Zheng, 2008).

3. Jenis-jenis Material Termoelektrik

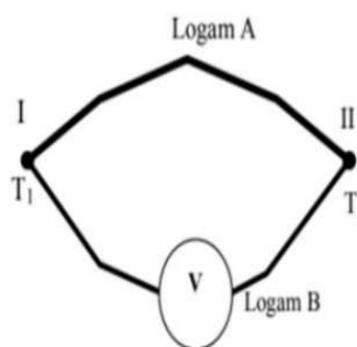
Bahan termoelektrik adalah bahan yang digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya energi listrik menjadi energi panas (Riffat & Ma, 2003). Material termoelektrik sendiri terdiri dari dua jenis material berbeda yang saling berhubungan satu sama lain. Material termoelektrik dibagi menjadi tiga jenis: material logam, bahan semikonduktor dan oksida logam.

a. Material Logam

Ada dua jenis sambungan pada sambungan logam termoelektrik, yaitu:

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

Suatu rangkaian tertutup dengan dua buah kawat logam yang berbeda (A dan B) dihubungkan pada kedua ujungnya dan sambungan diberi temperatur yang berbeda (T_1 dan T_2) lalu dihubungkan sebuah amperemeter (galvanometer) sehingga akan timbul arus listrik (I) dengan adanya penyimpangan pada jarum amperemeter (galvometer). Aplikasi dan penggunaan material termoelektrik logam ini di aplikasikan pada termokopel, termometer, dll (Karim, 2006).



Gambar 3. Ilustrasi material termoelektrik material logam

b. Material Semikonduktor

Karena kurangnya bahan yang ideal, Carette dkk menyelidiki konduktivitas termal dari beberapa bahan semikonduktor dan melaporkan bahwa semikonduktor AgKTe menunjukkan konduktivitas listrik pada suhu kamar. Evaluasi dilakukan dengan menggabungkan teori densitas (DFT) dengan teori transportasi Boltzmann semi klasik dan teori deformasi potensial (DP). Akhirnya setelah didapatkan

perhitungan matematis hasilnya menunjukkan bahwa AgKTe bisa menjadi bahan termoelektrik yang menjanjikan (Ma *et al.*, 2018).

Menurut teori semikonduktor klasik, elektron diasumsikan merambat dalam pita konduksi yang lebar. Bahan termoelektrik konvensional yang dikembangkan hingga tahun 1990-an dipilih berdasarkan panduan prinsipnya yaitu senyawa intermetalik dan panduan logam dengan sifat ikatan kovalen (untuk mobilitas tinggi). Bahan yang dipilih terdiri dari unsur-unsur berat seperti Bi, Te dan Pb. Salah satu bahan yang mewakili adalah Bi_2Te_3 hingga 200 °C, PbTe hingga 400 - 600 °C dan paduan logam Si-Ge hingga 400-1000 °C. Namun bahan ini tidak dapat dijual secara luas karena ketahanannya terhadap suhu tinggi yang buruk, sumber daya yang sedikit, biaya perakitan yang tinggi, dan toksisitas yang tinggi (Ohtaki, 2011).

c. Material Oksidasi Logam

Sebagian besar oksida logam transisi telah ditemukan menunjukkan perilaku unik seperti superkonduktivitas, suhu tinggi dalam oksida berbasis Cu, ketahanan magnet yang diamati pada oksida berbasis Co, dan efek termoelektrik yang besar pada oksida berbasis Co. Sifat fungsional yang tidak biasa dan sangat menjanjikan ini secara luas diyakini muncul dari interaksi kompleks antara tingkat energi bebas, spin, orbital, dan muatan dalam sistem elektron-elektron yang sangat berkorelasi dari ion logam transisi terkait (Sutjahja & Nugroho, 2012).

4. Aplikasi Material Termoelektrik

Termoelektrik merupakan teknologi konversi energi solid-state yang aman, nyaman dan ramah lingkungan, serta dapat langsung mengubah energi panas

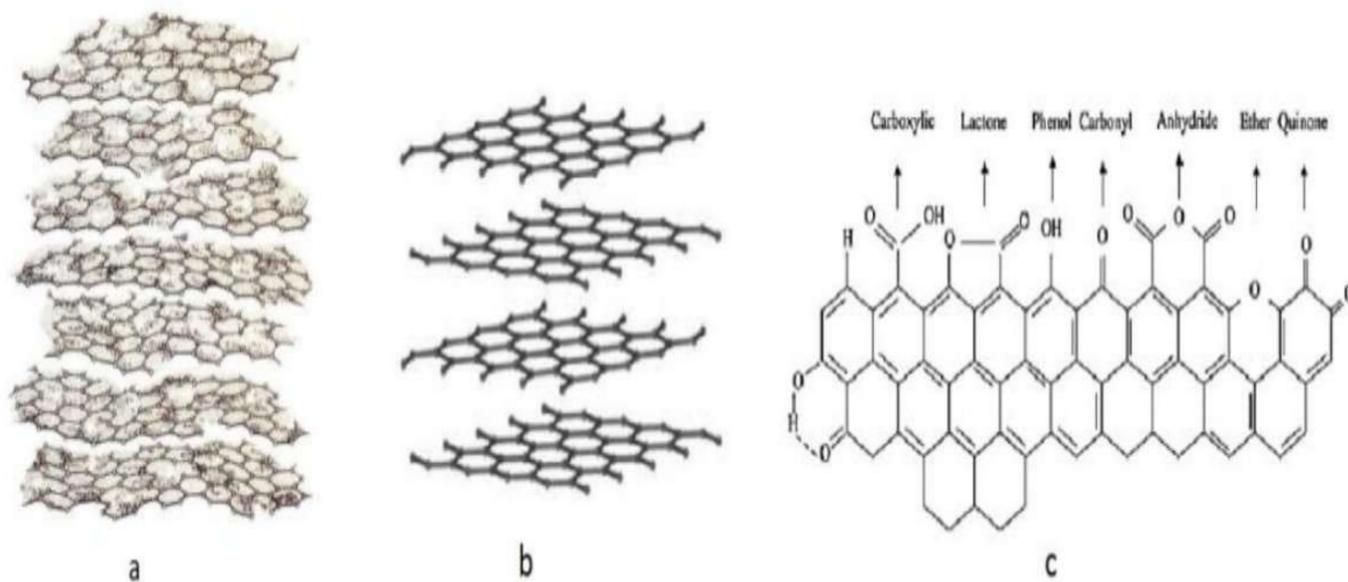
menjadi energi listrik dan sebaliknya. Ini memiliki berbagai aplikasi dalam pendinginan, pembangkit listrik dan pemulihan limbah panas. Perkembangan terbaru dalam mikroelektronika telah merangsang pengembangan bahan termoelektrik fleksibel yang menjanjikan untuk aplikasi yang dapat digunakan dalam perangkat seperti generator bertenaga sendiri yang berasal dari perbedaan suhu antara kulit dan lingkungan sekitarnya.

Namun bahan berbasis termoelektrik masih menghadapi tantangan besar karena tidak dapat dipasarkan secara bebas sebab penggunaan elemen yang kurang tersedia di bumi dan beracun serta mahal. Oleh karena itu, pengembangan film tipis termoelektrik yang murah dan tidak beracun dengan kinerja yang dapat diterima sangat diinginkan (Huang et al., 2021).

Dengan perkembangan teknologi elektronik, panas peralatan elektronik semakin meningkat. Pada saat yang sama, teknologi pendinginan pasif tradisional seperti pendinginan konveksi alami, mencapai batas kapasitas pendinginan dan efisiensi pendinginan untuk peralatan listrik berdaya tinggi. Dibandingkan dengan pendingin tradisional, pendingin termoelektrik memiliki keunggulan pengoperasian yang andal, kemampuan beradaptasi yang kuat, dan kecepatan respons yang cepat, serta memiliki potensi untuk mengatasi pembuangan panas. Dalam desain termal, suhu permukaan terendah CPU sesuai dengan daya input yang lebih besar. Seringkali ada konflik antara suhu permukaan dan daya input untuk kinerja optimal sistem pendingin termoelektrik. Optimalisasi ini juga konduktif mempelajari sistem pendingin termoelektrik dari pendingin CPU (Cai et al., 2017).

B. Karbon Aktif

Karena luas permukaannya yang tinggi, karbon aktif dapat menjadi salah satu termoelektrik yang paling efisien. Karbon aktif itu sendiri adalah amorf, bahan dengan basis karbon. Karbon aktif memiliki luas permukaan antar partikel yang sangat besar dan porositas yang tinggi. Karbon aktif adalah ikatan kovalen atom karbon pada sisi heksagonal yang membuat karbon aktif memiliki struktur grafit, dan gaya van der Waals adalah ikatan antara lapisan karbon aktif yang membuat porositas permukaan karbon aktif tinggi (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006).



Gambar 4. (a) Karbon aktif pada karbon grafit amorf (b) Struktur heksagonal layer dan grafit (c) Gugus fungsi permukaan karbon aktif (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006)

Karbon aktif telah banyak digunakan dalam menghilangkan bau, pemurnian air, katalis, penyimpanan, dll. Mesoporous merupakan salah satu karakteristik karbon aktif yang mengarah pada kemungkinan masuknya gas atau cairan ke dalam pori (Nor *et al.*, 2013). Kualitas karbon aktif dapat dilihat dari karakteristik struktur pori dan distribusi ukuran pori karbon aktif.

Tahap-tahap dalam preparasi karbon aktif ialah sebagai berikut:

1. Dehidrasi

Dehidrasi bertujuan supaya kandungan air pada bahan baku karbon berkurang atau hilang. Bahan baku dijemur dengan memanfaatkan cahaya mentari atau pemanasan dalam oven sampai pada perolehan berat yang konstan (Tumimomor & Palilingan, 2018).

2. Karbonisasi

Karbonisasi bertujuan supaya kandungan karbon lebih banyak dengan menghilangkan unsur non-karbon lainnya. Suhu karbonisasi juga bisa mempengaruhi kualitas karbon. Suhu karbonisasi tinggi bisa menyebabkan peningkatan laju divestasi cairan dan gas serta penurunan output karbon. Suhu tinggi akan menaikkan kandungan karbon dan kadar abu serta mengurangi bahan yang gampang menguap (Nor *et al.*, 2013). Temperatur tinggi sangat penting pada karbonisasi, tetapi temperatur yang terlalu tinggi pula akan menyebabkan adanya kandungan abu dalam karbon, sebagai akibatnya pada hal ini perlu dilakukannya pembatasan temperatur. Luas permukaan karbon dapat menurun jika pori-pori karbon tersumbat akibat terdapatnya abu pada saat karbonisasi.

3. Aktivasi

Tujuan dari aktivasi yaitu untuk memperluas luas permukaan, meningkatkan volume pori dan meningkatkan porositas karbon aktif. Aktivasi bisa dilakukan menggunakan aktivitas fisik, kimia dan campuran antara aktivitas fisik dan kimia (fisikokimia). Dalam proses aktivasi terjadi pengembangan struktur mikropori, terbakarnya dinding diantara pori-pori menyebabkan poro-pori besar.

Dalam aktivasi fisik penggunaan metode *steam* lebih dianjurkan berdasarkan pada CO₂. Molekul air menggunakan ukuran lebih kecil akan mempermudah terjadinya difusi pada struktur pori. Sedangkan dalam aktivasi kimia banyak

memakai agen aktivasi misalnya $ZnCl_2$, HPO_4 , $NaOH$ dan KOH . Pengembangan porositas dalam aktivasi kimia terjadi karena proses kehilangan cairan tubuh dan degradasi (Nor et al., 2013).

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses aktivasi ialah sebagai berikut:

1. Suhu

Luas permukaan dan pori-pori pada karbon akan semakin tinggi seiring dengan naiknya suhu. Hal ini terjadi lantaran sewaktu suhu tinggi akan melepaskan senyawa volatile sehingga porositas karbon aktif menjadi semakin tinggi.

2. Waktu karbonisasi

Reaksi pirolisis akan semakin sempurna dan karbon yang didapatkan semakin menurun bila waktu karbonisasi semakin lama, tetapi kualitas karbon yang didapatkan semakin tinggi.

3. Rasio aktivasi

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

Kualitas karbon aktif akan melalui beberapa uji seperti kadar abu, kadar air, kadar karbon terikat, kadar uap dan daya serap iodin. Masing-masing kadar tersebut sudah diatur batas persyaratannya pada Standar Nasional Indonesia (SNI) pada 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. Kulit Nanas

Nanas merupakan salah satu tanaman yang paling banyak dibudidayakan di daerah tropis dan subtropis. Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) merupakan salah satu buah yang penyebarannya cukup baik di Indonesia. Selain dimakan sebagai buah segar, nanas dapat diolah menjadi makanan dan minuman seperti selai, permen, dan lainnya. Selama pengolahan ini, kulit nanas dalam jumlah besar akan menghasilkan suatu limbah (Rosyida & Sulandri, 2014). Produksi karbon aktif dari limbah padat seperti kulit nanas (PP) sangat penting dalam bidang katalisis kimia hijau, pemanfaatan limbah padat dan aplikasi energi terbarukan (Jothi Ramalingam et al., 2020).



Gambar 5. Kulit Nanas (Dokumentasi pribadi, 2022)

Menurut (Chaokaur, dkk., 2009) kulit nanas mengandung 23,39% selulosa; 42,72% hemiselulosa; dan 4,03% lignin. Komponen karbon tinggi seperti lignin, selulosa dan hemiselulosa menjadikannya sumber karbon yang sangat baik (Bayu et al., 2020).

D. Tembaga (II) Oksida (CuO)

Oksidasi logam transisi terdiri dari berbagai macam jenis misalnya Fe_3O_4 , TiO_2 , MnO_2 , ZnO , CuO dan banyak lainnya. Oksidasi logam tersebut berpotensi menjadi semikonduktor dan katalis.



Gambar 6. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO)

CuO mempunyai potensi aplikasi diberbagai bidang. CuO banyak dipakai dalam optoelektronik serta perangkat elektronik misalnya sensor gas, emitter lapangan, katalis, cairan nano, high-Tc super konduktor, sel elektro kimia dan perangkat penyimpanan magnetic. CuO dikenal sebagai bahan semikonduktor tipe-p menggunakan energi celah pita 1,2 eV.

Beberap sifat CuO antara lain terdapat dalam tabel berikut:

Tabel 2. 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

E. Komposit

Gabungan dari dua bahan dasar yang dapat digunakan sebagai struktural material disebut dengan komposit. Bahan dasar komposit umumnya mempunyai sifat yang khas dan campuran bahan dasar tadi memungkinkan komposit mempunyai sifat yang belum pernah terdapat sebelumnya. Meskipun ruang percobaan komposit luas, metode tradisional pada pembuatan komposit mempunyai keterbatasan. Di masa lalu, komposit yang lebih kompleks sulit untuk diwujudkan (Chen & Gu, 2019).

Pada komposit masih ada konstituen matriks yang akan bertindak memperluas fase tempat dia tertanam. Matriks pada komposit berfungsi melindungi, mentransfer beban, memberikan ketangguhan atau kekuatan dan memberikan bentuk ke bagian komposit dalam material. Sebagai perbandingan antara logam dan komposit, komposit mempunyai beberapa keuntungan misalnya tinggi kekakuan dan kekuatan eksklusif serta ringan (Sugiarto, 2012).

F. Karakterisasi

1. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray diffraction (XRD) adalah teknik untuk mengidentifikasi fasa kristalin pada material untuk menentukan parameter struktur kisi dan mengetahui ukuran dari partikel. Prinsip sinar-X berupa saat sinar-X berdekatan dengan benda padat berupa atom, sinar-X akan dihamburkan oleh elektron-elektron pada atom. Interferensi gelombang konstruktif atau destruktif terjadi pada sepanjang arah yang tidak sama lantaran gelombang yang tersebar (pola difraksi) dipancarkan oleh atom dalam posisi yang berbeda. Tetapi interferensi konstruktif terjadi bila padatan mempunyai susunan struktur atom yang teratur. Terdapat interaksi kuat antara

struktur atom periodic Kristal dan pola difraksi pada material. Susunan atom (periodisitas) menggunakan jarak berulang yang jauh mengakibatkan difraksi dalam sudut kecil, sedangkan jarak berulang pendek mengakibatkan difraksi dalam sudut tinggi. Posisi puncak difraksi dipakai untuk memilih bentuk dan ukuran sel satuan sedangkan intensitas puncak difraksi menentukan posisi atom didalam sel dan nomor atom (Ameh, 2019).

Difraksi sinar-X (XRD) menggunakan teknik spesifik bisa dimanfaatkan untuk memilih struktur kristal, menciptakan pengukuran tekstur, misalnya orientasi butiran pada sampel polikristalin dan mengkarakterisasi sampel lapisan tipis (Bunaciu et al., 2015). Dalam penggunaan difraksi sinar-X untuk memeriksa kristal bisa memakai 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) ialah (Bunaciu et al., 2015):

1. Bertenaga dan cepat (<20 menit) pada identifikasi mineral yang belum diketahui.
2. Memberikan penentuan mineral yang tidak ambigu pada banyak kasus.

3. Membutuhkan persiapan sampel yang minimal.
4. Ketersediaan unit XRD yang sangat luas
5. Interpretasi data yang relatif lebih mudah

2. Analisa DR–UV

Diffuse Reflectance-UV (DR-UV) berfungsi buat mengetahui energi band gap suatu material menggunakan perhitungan hasil %R dan absorbansinya. Pengukuran ini berdasarkan terhadap intensitas sinar UV dan Visible yang direfleksibelkan oleh material yang diuji. Prinsip menurut instrumen ini berdasarkan lapisan material yang diradiasikan oleh foton sebagai akibatnya material menghamburkan atau menyerap foton (Saba, 2019).

Diffuse Reflectance-UV (DR-UV) pula bertujuan buat memilih berapa besar tenaga gap yang didapatkan oleh material semikonduktor yang telah disintesis. Energi gap merupakan tenaga celah yang berada pada anantara pita valensi yang penuh dengan elektron menggunakan pita konduksi yang kosong elektron. Pada material semikonduktor harga energi gap sangatlah penting, larutan akan berpengaruh menggunakan kinerja material semikonduktor dalam dalam mengalirkan elektron dan hole. Jika energi gap terlalu mini maka akan menyebabkan loncatan ke pita konduksi dari pita valensi sebagai akibatnya elektron menjadi kurang bebas, tetapi bila tenaga gap terlalu besar maka pula akan merusak loncatan elektron yang menyebabkan terhambatnya aliran elektron (Wiranda, 2015).

Pada umumnya energi dari celah pita suatu semikonduktor mempunyai nilai $h\nu$ saat $(F(R')h\nu)^{1/2} - 0$, ini didapatkan menurut persamaan regresi linear kurva

tadi. Energi celah pita bisa diperoleh menggunakan perhitungan perubahan besaran %R kedalam 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 bisa melalui grafik interaksi 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, 2009).

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 elektron sehingga kekosongan ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang berada lebih luar diikuti dengan pelepasan energy 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 di analisis 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 (W. P. Sari *et al.*, 2018)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Karbon aktif kulit nanas dibuat memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995 yaitu karbon aktif yang dibuat pada suhu 350°C dan diaktivasi dengan ZnCl_2 25% selama 7 jam.
2. Material komposit dengan perbandingan 3 gram karbon aktif : 7 gram CuO dengan ukuran material 3 cm x 3 cm x 0,5 cm adalah material termoelektrik terbaik sebab memiliki nilai konduktivitas listrik yang tinggi sebesar $0,1125 \text{ mS}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, daya hantar panas rendah 13,65 J/s serta tegangan listrik (Efek Seebeck) sebesar $0,0159 \mu\text{V/K}$.
3. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal (D) sebesar 27,1770 nm dengan kisi kristal (d) sebesar 0,2522 nm. Hasil karakterisasi UV-DRS menunjukkan band gap dari suatu material komposit karbon aktif – CuO yaitu 3,0 eV.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan :

1. Material termoelektrik yang dibuat dilanjutkan ke tahap aplikasi pembuatan generator termoelektrik.
2. Perlu ditelusuri lebih lanjut tentang sumber karbon aktif lainnya yang dapat digunakan sebagai komposit material termoelektrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alorabi, A. Q., Shamsi 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*.
- 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(April), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107110>
- Arazi, I., & Putra, A. (2020). Preparation and Characterization Composites of Activated Carbon from Cassava Peel (Manihot Utilisima) - Copper (II) Oxide (CuO) as a Thermoelectric Material. *International Journal of Research and Review (IJRR)*, 7(9), 42–51.
- Bayu, A., Nandiyanto, D., Chelvina, G., Girsang, S., Maryanti, R., Ragadhita, R., Anggraeni, S., Fauzi, M., Sakinah, P., Astuti, A. P., Usdiyana, D., Fiandini, M., Dewi, W., & Al-Obaidi, S. M. (2020). Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste. *Communications in Science and Technology*, 5(1), 31–39.
- 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>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E., Aboul-enein, H. Y., Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E., Aboul-enein, H. Y., Bunaciu, A. A., & S, E. G. U. (2015). *Critical Reviews in Analytical Chemistry X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications*. 8347. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cai, Y., Liu, D., Yang, J., Wang, Y., & Zhao, F. (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>
- Chaokaur, A., Laikhonburi, Y., Kunmee, C., Santhong, C., Chimthong, S. (2009). *Evaluation of nutritive value and sugar carbohydrate of pineapple residue*. 42, 301–306.
- Chen, C., & Gu, G. X. (2019). *Machine learning for composite materials*. 1–11. <https://doi.org/10.1557/mrc.2019.32>
- Gerabah, P. K., Besi, P., & Dengan, S. P. (2012). *MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA DESEMBER 2012. M*, 1–15.

- 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>
- Izzulhaq, A. (2020). *Praktikum Fisika S1 Teknik Mesin Ampere dan Voltmeter DC 1 Praktikum AV Meter dan Voltmeter DC. D. 19 Mei*.
- Jarman, J. T., Khalil, E. E., & Khalaf, E. (2013). Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources. *Open Journal of Energy Efficiency*, 02(04), 143–153. <https://doi.org/10.4236/ojee.2013.24019>
- Johan, M. R., Suan, M. S. M., Hawari, N. L., & Ching, H. A. (2011). Annealing effects on the properties of copper oxide thin films prepared by chemical deposition. *International Journal of Electrochemical Science*, 6(12), 6094–6104.
- Jothi Ramalingam, R., Sivachidambaram, M., Vijaya, J. J., Al-Lohedan, H. A., & Muthumareeswaran, M. R. (2020). Synthesis of porous activated carbon powder formation from fruit peel and cow dung waste for modified electrode fabrication and application. *Biomass and Bioenergy*, 142(November), 105800. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105800>
- Kiani, R., Mirzaei, F., Ghanbari, F., Feizi, R., & Mehdipour, F. (2020). Real textile wastewater treatment by a sulfate radicals-Advanced Oxidation Process: Peroxydisulfate decomposition using copper oxide (CuO) supported onto activated carbon. *Journal of Water Process Engineering*, 38(September), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101623>
- Kobayashi, K. (1957). *Studies on the Active Carbon. IV. The Electrical Resistance of the Active Carbon* (2). 2, 25–30.
- Kristianto, H. (2017). *JURNAL INTEGRASI PROSES Website : <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip> REVIEW : SINTESIS KARBON AKTIF DENGAN MENGGUNAKAN AKTIVASI KIMIA ZnCl₂ Studi Teknik Kimia , Fakultas Teknologi Industri , Universitas Katolik Parahyangan , Jl . Ciumbuleuit 94 , . 6(3), 104–111.*
- LIPI. (2000). *SNI No. 06-3720-1995*. 2000(1645), 1–76.
- Ma, H., Yang, C., Wang, M., & Ma, X. (2018). AC SC. *Journal of Alloys and Compounds*. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.12.205>
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Activated Carbon. In Elsevier Science & Technology Books. *MRS Proceedings*, 209. <https://doi.org/10.1557/proc-209-335>
- Maulidiyah, Wibowo, D., Hikmawati, Salamba, R., & Nurdin, M. (2015). Preparation and characterization of activated carbon from coconut shell-doped TiO₂ in water medium. *Oriental Journal of Chemistry*, 31(4), 2337–2342. <https://doi.org/10.13005/ojc/310462>

- Maulinda, L., Nasrul, Z., & Sari, D. N. (2015). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2), 11–19.
- Mawarni, E. (n.d.). *Kata-Kata kunci: Sambungan Nikel-Aluminium, tebal, bentuk, tegangan termoelektrik, tetapan Seebeck*. 3, 1–5.
- Miranti, S. T. (2012). Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan Activating Agent H₃PO₄ dan KOH. *Skripsi Fakultas Teknik Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia*, 1–82.
- Nor, N. M., Chung, L. L., Teong, L. K., & Mohamed, A. R. (2013). Journal of Environmental Chemical Engineering Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control — a review. *Biochemical Pharmacology*, 1(4), 658–666. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.09.017>
- Nurfajriani. (2019). *Adsorpsi Gas Buang Toluena Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Biomassa Limbah 48 Tempurung Kemiri (Aleurites moluccana L)*.
- Nurhayati, Nelwida, dan B. (2014). Perubahan Kandungan Protein Dan Serat Kasar Kulit Nanas Yang Difermentasi Dengan Plain Yoghurt. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, 17(1), 31–38.
- Ohtaki, M. (2011). *Recent aspects of oxide thermoelectric materials for power generation from mid-to-high temperature heat source*.
- Pasangan, D., Yang, L., & Fisika, J. P. (2006). *penentuan elektromotansi termal dari beberapa sambungan logam yang berbeda*. 8(2), 17–26.
- Permatasari, A. R., Khasanah, L. U., & Widowati, E. (2014). Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot utilissima) dengan Variasi Jenis Aktivator Characterization of Activated Carbon From Cassava Peels (Manihot utilissima) With Different Activators. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, VII(2), 70–75.
- Polozine, A., Sirotinskaya, S., Alegre, P., & Engenharia, E. De. (2014). *History of Development of Thermoelectric Materials for Electric Power Generation and Criteria of their Quality*. 17(5), 1260–1267.
- Press, H. E. (2008). *Jin-cheng ZHENG*. 3(3), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s11467-008-0028-9>
- Reynol, F., & Christin, S. (2018). *Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor*. 3(1), 13–18.
- Riffat, S. B., & Ma, X. (2003). Thermoelectrics: A review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(8), 913–935. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00012-7)
- Rosyida, F., & Sulandri, L. (2014). Pengaruh Jumlah Gula dan Asam Sitrat Terhadap Sifat Organoleptik, Kadar Air dan Jumlah Mikroba Manisan

- Kering Siwalan (*Borassus flabellifer*). *E-Journal Boga*, 03(1), 297–307.
- Rowe, D. M. (1995). *Introduction*.
- Saba, A. K. (2019). *Green Synthesis SnO₂NpS dengan Ekstrak Daun Bayam Merah (Amaranthus Tricolor L.) Untuk Aplikasi Fotodegradasi Zat Warna Bromophenol Blue*. 15612068.
- Sanjaya, H. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG Dengan Metode Fotosonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), 21–29. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/45>
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2003). Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya). *USU Digital Library*, 1–9.
- septiani, bella, S. (2014). *Vol. 7, No. 2, Maret 2014 J. Ris. Kim.* 7(2).
- Shepta, D. P. sudarmaji. (2012). *Rancang Bangun Sistem Pengukur Efisiensi Sel Peltier Berbasis Mikrokontroler*.
- Sr, P., & Thermoelectric, C. O. (2012). *Magnetic States of the Co-ions in Ca and Y Doped (Bi,Pb) 2 Sr 2 Co 2 O 8 Thermoelectric Materials*. 44(3), 230–238. <https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2012.44.3.3>
- Sugito, H. (2009). Konduktivitas Listrik Pulp Kakao Dengan Fermentasi Dan Pengenceran. *Berkala Fisika*, 12(3), 93–98.
- Sutjahja, I. M. (2011). *Penelitian Bahan Thermoelektrik Bagi Aplikasi Konversi Energi di Masa Mendatang (Review Article)*. 01, 58 – 70.
- Tritt, T. M., & Subramanian, M. A. (2006). *Thermoelectric Materials , Phenomena , and Applications : A Bird ' s Eye View*. 31(March).
- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., & Yahya, K. (2019). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika dengan Microwave. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 39–46. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2019.v23i1.479>
- Velvre, E. (2010). Thomas Johann Seebeck and his contribution to the modern science and technology. *BEC 2010 - 2010 12th Biennial Baltic Electronics Conference, Proceedings of the 12th Biennial Baltic Electronics Conference*, 17–24. <https://doi.org/10.1109/BEC.2010.5631216>
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Viena, V., Elvitriana, E., & Wardani, S. (2018). Application of banana peels waste as adsorbents for the removal of CO₂, NO, NO_x, and SO₂ gases from motorcycle emissions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/334/1/012037>
- Wiranda, A. (2015). *DR-UV. 1*.
- Zhang, J., Gao, J., Chen, Y., Hao, X., & Jin, X. (2017). Characterization,

preparation, and reaction mechanism of hemp stem based activated carbon. *Results in Physics*, 7, 1628–1633. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.04.028>

Zheng, J. C. (2008). Recent advances on thermoelectric materials. *Frontiers of Physics in China*, 3(3), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s11467-008-0028-9>