

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
KARBON AKTIF CANGKANG KELAPA SAWIT – TEMBAGA (II)
OKSIDA (CuO) SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)*



Oleh :

ULVA PRATAMA

NIM. 14036019 / 2014

PROGRAM STUDI KIMIA

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2018

PERSETUJUAN SKRIPSI

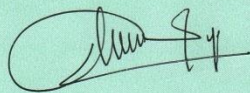
**PREPARASI DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT KARBON AKTIF
CANGKANG KELAPA SAWIT – TEMBAGA (II) OKSIDA (CuO)
SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK**

Nama : Ulva Pratama
Nim : 14036019
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juli 2018

Pembimbing I

Pembimbing II



Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D

NIP. 19720127 199702 1 002



Dra. Sri Benti Etika, M.Si

NIP. 19620913 198803 2 002

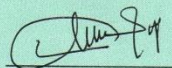
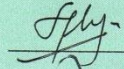
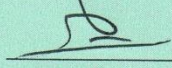
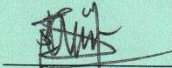
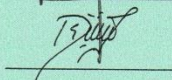
HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

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

Judul : Preparasi dan Karakterisasi Komposit Karbon Aktif Cangkang
Kelapa Sawit – Tembaga (II) Oksida (CuO) sebagai Material
Termoelektrik
Nama : Ulva Pratama
NIM : 14036019
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juli 2018

Tim Penguji

Nama	Tanda Tangan
1. Ketua : Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D	
2. Sekretaris : Dra. Sri Benti Etika, M.Si	
3. Anggota : Prof. Ali Amran M.Pd, MA, Ph.D	
4. Anggota : Drs. Bahrizal, M.Si	
5. Anggota : Dr. Desy Kurniawati, S.Pd, M,Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ulva Pratama
TM/NIM : 14036019/2014
Tempat/Tanggal Lahir : Sijunjung/ 04 Agustus 1996
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : MIPA
Alamat : Air Amo, Sijunjung
No.HP/Telepon : 085355113230
Judul Skripsi : Preparasi dan Karakterisasi Komposit Karbon Aktif
Cangkang Kelapa Sawit – Tembaga (II) Oksida
(CuO) sebagai Material Termoelektrik

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangan **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, Juli 2018

Yang membuat pernyataan,



Ulva Pratama

NIM : 14036019

ABSTRAK

Ulva Pratama (2018) : Preparasi dan Karakterisasi Komposit Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit – Tembaga (II) Oksida (CuO) sebagai Material Termoelektrik

Material termoelektrik merupakan material yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Pada penelitian ini material termoelektrik dibuat dari komposit karbon aktif cangkang kelapa sawit-CuO. Material komposit Karbon Aktif-CuO dibuat dengan mencampurkan berbagai perbandingan komposisi massa (gram) dari karbon aktif dan CuO. Material komposit dilakukan pengujian konduktivitas listrik, tegangan listrik yang dihasilkan (efek *Seebeck*), dan daya hantar panas. Untuk melihat bentuk dan ukuran kristal dari material komposit dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan untuk mengetahui band gap material komposit dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *UV-Diffuse Reflectance* (UV-DRS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa material komposit dengan perbandingan 3 gram Karbon Aktif : 7 gram CuO merupakan material terbaik sebagai material termoelektrik karena memiliki nilai konduktivitas listrik yang tinggi yaitu $20 \text{ (M}\Omega\cdot\text{cm)}$ dan tegangan listrik (efek *Seebeck*) yaitu $7,2 \times 10^{-3} \text{ mV/K}$ serta daya hantar panas yang rendah yaitu $4,8 \text{ J/s}$. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa penambahan Karbon Aktif terhadap CuO tidak merusak bentuk kristal dari CuO. Ukuran kristal (D) dan kisi kristal (d) dari material komposit yaitu $14,36 \text{ \AA}$ dan $2,32 \text{ \AA}$. Hasil karakterisasi UV-DRS menunjukkan bahwa band gap dari material komposit yaitu $1,37 \text{ eV}$. Berdasarkan hasil pengujian dan karakterisasi dapat disimpulkan bahwa material komposit Karbon Aktif-CuO yang dibuat dapat digunakan sebagai material termoelektrik.

Kata Kunci : Karbon aktif, tembaga (II) oksida, komposit, material termoelektrik

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Preparasi dan Karakterisasi Komposit Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit – Tembaga (II) Oksida (CuO) sebagai Material Termoelektrik**. Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan mata kuliah Tugas Akhir 2 pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada :

1. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing I.
2. Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si sebagai Pembimbing II sekaligus Penasihat Akademik.
3. Bapak Prof. Ali Amran, M. Pd, M. A, Ph. D, Bapak Drs. Bahrizal, M.Si, dan Ibuk Dr. Desy Kurniawati, S. Pd, M.Si sebagai Dosen Pembahas.
4. Bapak Dr. H. Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia, Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si sebagai Sekretaris Jurusan Kimia, Bapak Hary Sanjaya, S.Si, M.Si. sebagai Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP.
5. Seluruh Staf Pengajar dan tenaga Administrasi di Jurusan Kimia FMIPA UNP.
6. Semua pihak lain dan teman-teman kimia tahun 2014 yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini.

7. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal ‘Alamin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum lengkap dan sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari para pembaca semoga skripsi ini bermanfaat.

Padang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Material Termoelektrik	7
2.2 Karbon Aktif	10
2.3 Cangkang Kelapa Sawit	14
2.4 Tembaga (II) Oksida (CuO)	15
2.5 Komposit	17
2.6 Karakterisasi Komposit Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Tembaga (II) Oksida	20
2.6.1 Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	20
2.6.2 Analisa <i>UV-Diffuse Reflectance</i> (UV-DRS)	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Objek Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Alat dan Bahan	24
3.4.1 Alat	24

3.4.2 Bahan.....	24
3.5 Prosedur Penelitian.....	24
3.5.1 Preparasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit	24
3.5.2 Karbonisasi dan Aktivasi Cangkang Kelapa Sawit.....	25
3.5.3 Pengujian Karakteristik Karbon Aktif	25
3.5.3.1 Pengujian Kadar Air	25
3.5.3.2 Pengujian Kadar Abu.....	26
3.5.3.3 Pengujian Kadar Uap	26
3.5.3.4 Pengujian Kadar Karbon Terikat.....	26
3.5.4 Preparasi Komposit Karbon Aktif - CuO	27
3.5.5 Percetakan Material.....	27
3.5.6 Pengujian Komposit Karbon Aktif-CuO	28
3.5.6.1 Pengujian Konduktivitas Listrik.....	28
3.5.6.2 Pengujian Daya Hantar Panas.....	29
3.5.6.3 Pengujian Tegangan Listrik yang dihasilkan (Efek <i>Seebeck</i>)	29
3.5.7 Karakterisasi Komposit Karbon Aktif-CuO	30
3.5.7.1 Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	30
3.5.7.2 Analisa <i>UV-Diffuse Reflectance</i> (UV-DRS)	30
3.6 Design Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Preparasi Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit	32
4.2 Karakteristik Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit	33
4.2.1 Pengujian Kadar Air.....	33
4.2.2 Pengujian Kadar Abu	34
4.2.3 Pengujian Kadar Uap	35
4.2.4 Pengujian Kadar Karbon Terikat.....	36
4.3 Preparasi dan Percetakan Material Komposit Karbon Aktif-CuO.....	37
4.4 Pengujian Konduktivitas Listrik.....	38
4.5 Pengujian Tegangan Listrik yang dihasilkan (efek <i>Seebeck</i>)	39
4.6 Pengujian Daya Hantar Panas	41

4.7 Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	42
4.8 Karakterisasi dengan <i>UV-Diffuse Reflectance</i> (UV-DRS)	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat-sifat khas CuO	17
3.1 Komposisi perbandingan massa (gram) material komposit Karbon Aktif - CuO.....	27
4.1 Hasil karakteristik kadar air karbon aktif.....	33
4.2 Hasil karakteristik kadar abu.....	34
4.3 Hasil karakteristik kadar uap.....	35
4.4 Hasil karakteristik kadar karbon terikat.	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Percobaan <i>Seebeck</i> tentang fenomena termoelektrik	7
2. 2 Efek pada termoelektrik	8
2. 3 Susunan logam yang menjelaskan tentang termoelektrik dan efek <i>Seebeck</i>	9
2. 4 Struktur Karbon Aktif	11
2. 5 Karbon Aktif	12
2. 6 Cangkang Kelapa Sawit	15
2. 7 Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO).....	16
2. 8 Struktur kristal CuO	16
4. 1 (a) Karbon Aktif 2% dan 4%, (b) Karbon Aktif 6 %, 8% dan 10 %.....	33
4. 2 Material hasil komposit Karbon Aktif-CuO	37
4. 3 Grafik konduktivitas listrik ($M\Omega\text{-cm-}$)	38
4. 4 Grafik pengujian koefisien efek <i>Seebeck</i> (mV/K)	40
4. 5 Grafik daya hantar panas (J/s).....	41
4. 6 Spektrum XRD : (a).Karbon aktif (b).CuO murni (c).Komposit Karbon Aktif-CuO	43
4. 7 Grafik Nilai <i>Band Gap</i> Komposit Karbon Aktif-CuO	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Preparasi, Karbonisasi dan Aktivasi Cangkang Kelapa Sawit menjadi Karbon Aktif	51
2. Pengujian karakteristik karbon aktif	52
3. Preparasi Komposit Karbon Aktif-CuO dan percetakan material.....	53
4. Pengujian konduktivitas listrik ($M\Omega\cdot cm$ -)	54
5. Pengujian daya hantar panas (J/s)	54
6. Pengujian tegangan listrik yang dihasilkan (efek <i>Seebeck</i>)	55
7. Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	55
8. Analisa UV-DRS.....	56
9. Perhitungan karakteristik karbon aktif cangkang kelapa sawit.....	57
10. Tabel nilai konduktivitas listrik	64
11. Tabel nilai tegangan listrik yang dihasilkan (efek <i>Seebeck</i>).....	64
12. Tabel nilai daya hantar panas	65
13. Data Hasil Pengukuran XRD	65
14. Data Perhitungan Ukuran Komposit Karbon Aktif-CuO.....	71
15. Data Hasil Pengukuran UV-DRS Komposit Karbon Aktif-CuO.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Hampir semua aktifitas manusia berhubungan dengan energi listrik. Kebutuhan akan energi listrik semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan pusat-pusat industri. Berbagai upaya telah banyak ditempuh sebagai antisipasi dalam penyediaan sumber energi listrik alternatif, termasuk pencarian dan pengembangan sumber energi listrik terbarukan (Shepta, 2012). Di sisi lain, energi panas juga banyak digunakan demi kelangsungan hidup manusia. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pengembangan energi listrik alternatif sebagai salah satu upaya penghematan energi listrik dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik dengan memanfaatkan material termoelektrik.

Material termoelektrik dapat digunakan untuk merubah energi panas menjadi energi listrik melalui efek *Seebeck* (Zhang *et al*, 2017). Efek *Seebeck* merupakan fenomena dimana adanya tegangan listrik yang muncul akibat adanya perbedaan temperatur pada suatu sambungan dari dua buah material yang berbeda. Berbagai sumber energi panas seperti matahari, panas bumi, panas pembakaran dan lain-lain belum dimanfaatkan manusia secara maksimal. Selain itu, sumber energi panas yang tidak berguna banyak pula dihasilkan dari limbah industri (pabrik), dari kegiatan antropogenik manusia seperti kendaraan bermotor (*automotive*), dan pemakaian AC (*air conditioning*). Energi panas yang jumlahnya berlebih dan selama ini belum dimanfaatkan dapat dikonversi menjadi energi

listrik, terutama bagi daerah-daerah terpencil atau terisolir. Dalam skala aplikasi yang lebih besar, hal ini diharapkan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan energi yang bersifat tak terbarukan dan sejajar dengan sumber-sumber energi alternatif yang lain seperti tenaga air, geotermal, energi surya, energi angin, energi berbahan bakar biogas, dan energi nuklir (Sutjahja, 2011).

Idealnya, material termoelektrik memiliki efek *Seebeck* dan konduktivitas listrik yang tinggi sedangkan konduktivitas panasnya rendah. Namun pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan material seperti ini karena pada umumnya jika konduktivitas listrik suatu material tinggi, konduktivitas panasnya juga tinggi (Zheng, 2008). Oleh karena itu, perlu dicari material yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan konduktivitas panasnya rendah. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai material termoelektrik adalah karbon aktif.

Karbon aktif merupakan suatu material berpori dengan kandungan 85 - 95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Gultom, 2014). Karbon aktif memiliki konduktivitas panas yang baik sebagai material termoelektrik (Shapley, 2012) dan tergolong murah serta mudah diperoleh. Karbon aktif yang akan digunakan pada penelitian ini diperoleh dari cangkang kelapa sawit.

Karbon aktif memiliki nilai konduktivitas listrik sangat kecil yaitu 0,001 S/m (Shapley, 2012) sehingga perlu dicari alternatif supaya dapat memperoleh material yang memiliki konduktivitas panas rendah dan konduktivitas listrik yang tinggi. Hal tersebut dapat diperoleh dengan cara mengkompositkan karbon aktif

dengan material yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi seperti CuO. CuO merupakan salah satu senyawa tembaga oksida dan merupakan bahan semikonduktor tipe-p dengan band gap 1,2 eV (Johan, 2011). CuO banyak diaplikasikan sebagai gas sensor, katalis, baterai, superkonduktor suhu tinggi, konversi energi surya dan bidang emisi (Ghane *et al.*, 2010). Pada penelitian ini CuO akan digunakan sebagai material termoelektrik yang dikompositkan dengan karbon aktif.

Penelitian mengenai material termoelektrik dengan menggunakan komposit telah pernah dilakukan sebelumnya oleh Chunhua *et al* (2016) yaitu komposit Bi₂Te₃/Graphite/Polythiophene. Pada penelitian ini bahan yang digunakan memiliki harga yang mahal dan susah diperoleh. Oleh karena itu dicari alternatif material lain yang harganya murah dan mudah diperoleh seperti komposit karbon aktif dengan CuO. Penelitian dengan menggunakan karbon aktif telah dilakukan sebelumnya oleh Darmanto (2017) yaitu dengan menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa. Pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa dapat digunakan sebagai material termoelektrik. Pada penelitian ini penulis menggunakan karbon aktif yang dihasilkan dari cangkang kelapa sawit. Pada komposit ini Karbon Aktif berfungsi sebagai pengikat (*matrix*) dan CuO sebagai pengisi (*Filler*).

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis telah meneliti tentang Komposit Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit-CuO sebagai material termoelektrik. Diharapkan dengan penggunaan material Komposit Karbon Aktif-CuO sebagai

material termoelektrik dapat menjadi bagian dari material termoelektrik dengan kualitas yang baik, ramah lingkungan, dan ekonomis.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan energi listrik meningkat.
2. Diperlukannya sumber energi listrik alternatif baru.
3. Masih banyak sumber energi listrik yang belum dimanfaatkan seperti dari energi panas.
4. Pengembangan energi listrik alternatif dari energi panas (material termoelektrik) masih didominasi oleh penggunaan semikonduktor Si, Ge dan lain-lain yang harganya sangat mahal serta susah diperoleh.
5. Penggunaan Komposit Karbon Aktif-CuO sebagai material termoelektrik masih dalam tahap penelitian belum pada tahap aplikasi.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Karbon Aktif yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari cangkang kelapa sawit.
2. Reagen pengaktivasi yang digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif adalah larutan ZnCl_2 .
3. Karbon Aktif dari cangkang kelapa sawit dikompositkan dengan CuO.

4. Pengujian yang dilakukan pada komposit Karbon Aktif-CuO yaitu pengujian konduktivitas listrik, pengujian daya hantar panas, dan pengujian efek *Seebeck*.
5. Pengkarakterisasian Komposit Karbon Aktif-CuO dilakukan dengan menggunakan XRD dan UV-DRS.

1.4 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana melakukan preparasi Karbon Aktif dari cangkang kelapa sawit?
2. Bagaimana membuat komposit Karbon Aktif dari cangkang kelapa sawit dengan CuO sebagai material termoelektrik?
3. Bagaimana melakukan pengujian dan karakterisasi Komposit Karbon Aktif-CuO?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah:

1. Menentukan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan dengan menggunakan reagen pengaktivasi yaitu larutan ZnCl_2 dengan konsentrasi 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%.
2. Menentukan jumlah perbandingan massa (gr) Komposit Karbon Aktif-CuO sebagai material termoelektrik.
3. Menentukan bentuk kristal dengan menggunakan XRD dan nilai band gap dengan menggunakan UV-DRS dari material termoelektrik yang dihasilkan.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

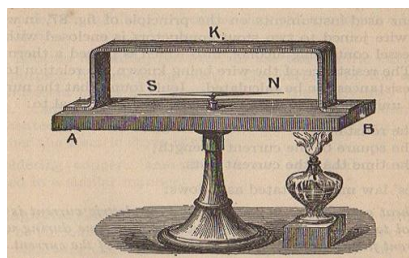
1. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang material termoelektrik dari Komposit Karbon Aktif-CuO.
2. Dapat menambah wawasan tentang alternatif baru energi listrik dari material termoelektrik.
3. Dapat dijadikan sebagai sumber ide dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Termoelektrik

Material termoelektrik merupakan suatu material dari golongan semikonduktor yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik dengan menggunakan efek *Seebeck* dan dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi panas menggunakan efek *Peltier* (Zhang *et al*, 2017). Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck.

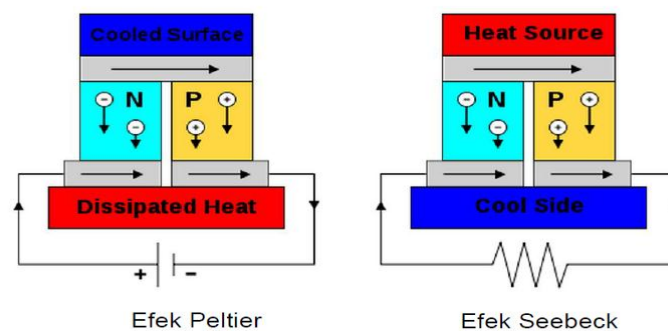
Thomas Johann Seebeck menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut diletakkan jarum kompas. Ketika salah satu sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas seperti terlihat pada Gambar 2.1 Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek *Seebeck* (Rafika *et al*, 2016).



Gambar 2.1 Percobaan *Seebeck* tentang fenomena termoelektrik

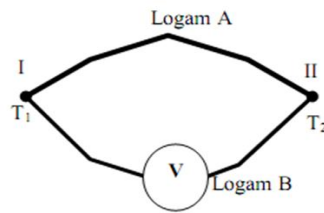
Penemuan *seebeck* ini memberikan inspirasi pada Jean Charles Athanase Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Ia mengalirkan listrik

pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik ketika arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1934 tersebut kemudian dikenal dengan efek *Peltier* (Mahmud, 2016). Efek *Seebeck* dan *Peltier* inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi termoelektrik.



Gambar 2.2 Efek pada termoelektrik (Zheng, 2008)

Material termoelektrik pada prinsipnya merupakan susunan dua tipe material termoelektrik yang berbeda dan disambungkan satu sama lain. Ada tiga efek utama yang terlibat dalam termoelektrik yaitu efek *Seebeck*, efek *Peltier* dan efek *Thomson* (S. B. Riffat, 2003). Efek *Seebeck* merupakan fenomena dimana adanya tegangan listrik yang muncul akibat perbedaan temperatur pada suatu sambungan dari dua buah material yang berbeda. Penemuan Thomas Johann Seebeck tentang efek *Seebeck* ini dapat digambarkan seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3 Susunan logam yang menjelaskan tentang termoelektrik dan efek *Seebeck* (Karim *et al*, 2003)

Arus listrik yang muncul dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S = \frac{dV}{dT}$$

Dimana :

- S adalah efek *Seebeck*
- V adalah tegangan termoelektrik.
- T adalah temperatur

Efek *Peltier* merupakan kebalikan dari efek *Seebeck*, yakni terjadinya perbedaan temperatur pada suatu material karena adanya tegangan listrik. Efek *Thomson* berkaitan dengan perbedaan arus termal reversibel dan medan listrik dalam konduktor homogen. Efek termoelektrik tersebut diterapkan dalam modul termoelektrik (Efek *Seebeck*) pada generator termoelektrik sedangkan efek *Peltier* pada pendingin termoelektrik (Zheng, 2008).

Standar perkembangan dari material termoelektrik adalah nilai *figure of merit* (ZT). Nilai *figure of merit* tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

Dimana :

- σ adalah konduktivitas listrik
- α adalah koefisien *Seebeck*
- T adalah temperatur operasi rata-rata
- k adalah konduktivitas termal (Jarman *et al*, 2013).

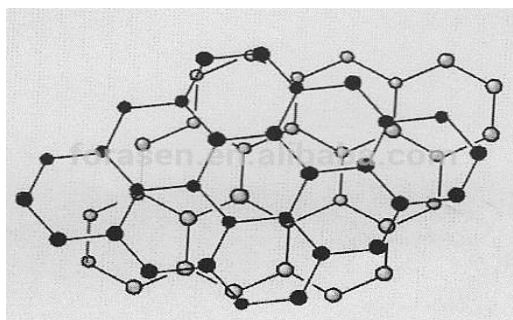
Nilai ZT yang semakin tinggi menandakan sifat termoelektrik yang semakin baik. Namun untuk aplikasinya tidak hanya memandang dari nilai ZT tapi juga dari kestabilan bahan, dampak terhadap lingkungan, konstruksi optimum, teknik coating, teknik modulasi dan lain-lain (Sano *et al*, 2003). Idealnya, material termoelektrik memiliki efek *Seebeck* dan konduktivitas listrik yang tinggi sedangkan konduktivitas panasnya rendah. Namun pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan material seperti ini karena pada umumnya jika konduktivitas listrik suatu material tinggi, konduktivitas panasnya juga tinggi. Selain itu, semakin besar nilai *figure of merit*, semakin baik efisiensi generator termoelektrik atau pendingin termoelektrik (Zheng, 2008).

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu material berpori dengan kandungan 85 - 95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Gultom, 2014). Komarayati (2007) mendefinisikan bahwa karbon aktif adalah residu berwarna hitam hasil pembakaran pada keadaan tanpa oksigen yang mengandung karbon dan berbentuk padat serta berpori, seperti

kayu atau bahan biomaterial lainnya. Sebagian pori-pori masih tetap tertutup dengan hidrokarbon dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen dan sulfur.

Karbon aktif merupakan karbon yang memiliki struktur amorphous atau mikrokristalin. Sebagian besar karbon aktif terdiri dari karbon bebas dan memiliki “permukaan dalam” (*internal surface*) yang biasanya diperoleh dengan perlakuan khusus serta memiliki luas permukaan berkisar antara 300-2000 m²/g (Ramdja, 2008). Karbon aktif merupakan karbon yang telah diaktivasi sehingga terjadi pengembangan struktur pori yang bergantung kepada metode aktivasi yang digunakan. Struktur dasar dari karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin).



Gambar 2.4 Struktur Karbon Aktif
(Sudibanriyo, 2003)

Proses pembuatan karbon aktif dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama, proses karbonisasi bahan baku yang dilakukan untuk menghasilkan karbon. Tahap kedua merupakan proses aktivasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan karbon sehingga porositas dari karbon meningkat (Lempang, 2014).

a. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pembakaran tidak sempurna dari bahan organik dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas sehingga menghasilkan karbon. Proses pembakaran ini menyebabkan penguraian senyawa organik yang menyusun pada struktur bahan baku seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin (Faisal, 2014). Kualitas karbon aktif yang dihasilkan di antaranya dipengaruhi oleh kesempurnaan pada proses karbonisasi.

b. Aktivasi

Proses aktivasi merupakan proses yang penting dalam pembuatan karbon aktif. Aktivasi karbon bertujuan untuk memperbesar dan menghilangkan pengotor pada pori-pori karbon aktif dengan cara memutuskan ikatan hidrokarbon (Rahayu dan Adhitiyawarman, 2014). Aktivasi dapat dilakukan melalui dua metode yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Pada aktivasi fisika, karbon diaktivasi pada suhu yang cukup tinggi dengan menggunakan uap atau gas seperti karbondioksida sebagai reagen aktivasi (Chang *et al*, 2000). Pada aktivasi kimia, karbon diaktivasi melalui perendaman dengan reagen bahan kimia. Bahan yang biasa digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif adalah HCl, ZnCl₂, NaOH, NaCl dan H₃PO₄.



Gambar 2.5 Karbon Aktif (Dokumentasi Pribadi)

Penilaian kualitas karbon aktif dilakukan berdasarkan :

1. Ukuran

Meliputi: batangan, halus, atau pecah.

2. Sifat fisik

Meliputi: warna, bunyi, nyala, kekerasan, kerapuhan, nilai kalor, dan berat jenis.

3. Analisis Karbon aktif

Meliputi: kadar air, kadar abu, karbon sisa, dan zat mudah menguap.

4. Suhu maksimum karbonisasi dan kemurnian karbon aktif.

Penggunaan karbon aktif tidak hanya terbatas sebagai bahan bakar, tetapi juga dalam berbagai industri. Karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai bidang, diantaranya bidang industri, kesehatan, dan lingkungan:

1. Industri

Produk karbon aktif lebih dari 70% digunakan disektor industri.

Penggunaan utama dari karbon aktif adalah untuk pemurnian larutan, seperti industri gula, sirup, air minum, sayuran, lemak, minyak, minuman alkohol, bahan kimia dan farmasi; penyerap gas beracun pada masker; penghilang bau pada sistem alat pendingin; penyerap emisi uap bahan bakar pada otomotif serta sebagai filter rokok. Karbon aktif juga telah digunakan sebagai bahan tambahan dalam produk untuk pemeliharaan kebersihan dan kehalusan kulit dan rambut, antara lain sabun, lulur dan sampo.

2. Kesehatan

Di dalam bidang kesehatan, karbon aktif digunakan dalam penanganan keracunan eksternal dan terapi diare sekretonik. Terapi diare sekretonik dapat dilakukan dengan penggunaan adsorben (misalnya karbon aktif), zat pengembang (misalnya pektin) atau astrigen (preparat yang mengandung tanin).

3. Lingkungan

Di dalam bidang lingkungan, karbon aktif digunakan sebagai adsorben terhadap logam Hg, Pb, Cd, Ni, Cu dalam limbah cair industri, pelapisan nikel dan pelapisan tembaga. Kemampuan karbon aktif sebagai penghilang logam tersebut dipengaruhi oleh pH dan konsentrasi karbon (Lempang, 2014).

2.3 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar yaitu mencapai 30% dari produk minyak. Cangkang merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Ditinjau dari karakteristik bahan baku, jika dibandingkan dengan tempurung kelapa, cangkang kelapa sawit memiliki banyak kemiripan. Perbedaan yang mencolok yaitu pada kadar abu (*ash content*) yang biasa mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan oleh tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit (Nasution, 2011).



Gambar 2.6 Cangkang Kelapa Sawit (Dokumentasi Pribadi)

Cangkang kelapa sawit mengandung selulosa 38,52%, hemiselulosa 33,52%, lignin 20,36%, zat ekstraktif 3,68%, abu 3,92%, dan air 8,0% (Khor, 2009). Cangkang kelapa sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri dan rumah tangga. Diantaranya adalah sebagai produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu arang aktif, asap cair, fenol, briket arang, dan tepung tempurung (Meisrilestari, 2013). Pembuatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dapat diperoleh melalui proses pirolisis.

Proses pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi dekomposisi senyawa-senyawa penyusun dari suatu masa berlignoselulosa. Proses pirolisis terhadap cangkang sawit akan diperoleh rendemen berupa arang, prosesnya melibatkan berbagai proses reaksi yaitu dekomposisi, oksidasi, polimerisasi, dan kondensasi. Proses pirolisis bertujuan untuk menguraikan senyawa kimia yang ada dalam cangkang kelapa sawit tersebut (Nasution, 2011).

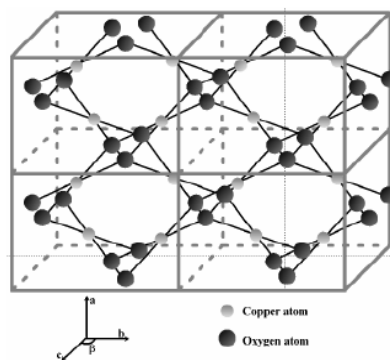
2.4 Tembaga (II) Oksida (CuO)

Oksida logam transisi seperti CuO, ZnO, MnO₂, TiO₂, Fe₃O₄ dan lain-lain memiliki potensi untuk diaplikasikan terutama sebagai bahan semikonduktor dan katalis.



Gambar 2.7 Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO)
(Dokumentasi Pribadi)

CuO merupakan salah satu senyawa tembaga oksida dan merupakan bahan semikonduktor tipe-p dengan band gap 1,2 eV (Johan, 2011). Sebagai semikonduktor tipe-p, CuO telah digunakan dalam banyak aplikasi seperti dalam gas sensor, katalis, baterai, superkonduktor suhu tinggi, konversi energi surya dan bidang emisi (Ghane *et al.*, 2010). CuO memiliki struktur kristal monoklinik sederhana dan merupakan katalis penting yang banyak digunakan karena aktifitasnya yang tinggi dan selektif dalam reaksi oksidasi reduksi.



Gambar 2.8 Struktur kristal CuO (Wang, 2006)

Beberapa sifat –sifat CuO diantaranya dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat-sifat khas CuO (Ahmad, 2014)

Sifat	Nilai
Massa molar	79,545 g/mol
Band gap	1,2 Ev
Kerapatan	6,315 g/cm ³
Titik leleh	1326 °C
Titik didih	2000 °C
Wujud	Padatan hitam keabu-abuan
Dekomposisi termal	T > 850°C
Struktur kristal	Monoklin

2.5 Komposit

Komposit merupakan kombinasi dari satu atau lebih material yang menghasilkan sifat lebih baik dari material penyusunnya (Suhdi, 2016). Komposit dihasilkan dari pencampuran sejumlah fase yang terdiri dari bahan utama sebagai bahan pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan utama membentuk matrik sedangkan penguat ditanamkan di dalamnya. Bahan penguat dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain (Campbell, 2004). Untuk memperkuat struktur komposit dapat dilakukan melalui proses ikat silang dengan agen pengikat silang (*crosslinker*). Dengan adanya ikat silang (*crosslinker*) tersebut ikatan dalam polimer serta struktur dan sifat mekanik dari komposit akan menjadi lebih kuat.

Beberapa definisi dasar dari komposit adalah sebagai berikut:

- a. Sub-Mikro (nano) artinya molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh: senyawa, paduan (alloy), polimer, dan keramik).
- b. Mikrostruktur artinya pada kristal, fase, dan senyawa, bila material disusun dari dua fase atau senyawa atau lebih disebut komposit (contoh: paduan Fe dan C).
- c. Makrostruktur artinya material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk dan/atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit (definisi secara makro ini yang biasa dipakai dalam mendefinisikan komposit) (Ramadhonal, 2010).

Komposit adalah bahan struktural yang terdiri dari dua atau lebih konstituen gabungan yang dikombinasikan pada tingkat makroskopik dan tidak larut satu sama lain. Salah satu dari konstituen itu bersifat memperkuat fase dan dimana ia tertanam yang disebut matriks. Peranan matriks dalam komposit yaitu memberikan bentuk ke bagian komposit, melindungi, mentransfer beban dan memberikan ketangguhan/kekuatan pada material.

Material komposit terdiri dari gabungan material pengisi (*filler*) dan pengikat (*matriks*). Adapun definisi dari keduanya adalah dimana filler adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Serat yang sering digunakan dalam pembuatan komposit antara lain serat E-Glass, Boron, Carbon dan lain sebagainya. Bisa juga dari serat alam antara lain serat *kenaf*, *jute*, *rami*, *cantula* dan lain sebagainya. Lain halnya dengan

matrik dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik.

Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit. Matrik memiliki fungsi mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur, melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan, mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat, menyumbangkan beberapa sifat seperti, kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik. Kegunaan dari material komposit telah dikenal selama ribuan tahun pada alam sekitar kita. Pada zaman mesir kuno, jerami digunakan pada dinding untuk meningkatkan performa struktur. Kayu merupakan komposit alami yang banyak digunakan selama ini. Para pekerja kuno telah mengenal istilah komposit untuk mengikat alang-alang dalam pembuatan kapal komposit 7000 tahun yang lalu.

Pada umumnya komposit yang dibuat manusia dapat dibagi dalam tiga kelompok utama :

1. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites*)

Komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composites*) ini merupakan komposit yang sering digunakan sebagai polimer penguatan serat (*Fibre Reinforced Polymers or Plastics*) bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan dasar resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (*Kevlar*) sebagai penguatannya.

2. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites*)

Komposit matrik logam (*Metal Matrix Composites*) ditemukan berkembang pada industri otomotif. Bahan ini menggunakan suatu logam

seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat silicon seperti karbida.

3. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites*)

Komposit matrik keramik (*Ceramic Matrix Composites*) digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi. Bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek atau serabut-serabut (*whiskers*) yang terbuat dari *silicon carbide* atau *boron nitride*. (Sugiarto, 2012)

2.6 Karakterisasi Komposit Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Tembaga (II) Oksida

2.6.1 Analisa X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan salah satu alat yang digunakan untuk karakterisasi material. XRD juga digunakan untuk memperoleh informasi tentang struktur, komposisi, dan keadaan polikristalin pada suatu material. Sampel yang digunakan pada XRD ini bisa berupa bubuk, solid, atau films (Sibilia, 1988). Prinsip dari XRD adalah sinar X yang dihasilkan dari suatu logam tertentu memiliki panjang gelombang tertentu sehingga dengan memvariasikan besar sudut pantulan sehingga terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi.

Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n.\lambda = 2.d.\sin \theta ; n = 1,2,\dots$$

λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Berdasarkan persamaan *Bragg*, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material.

2.6.2 Analisa UV-Diffuse Reflectance (UV-DRS)

Karakterisasi dengan UV-DRS digunakan untuk menentukan nilai celah energi (*band gap*) dari material komposit Karbon Aktif-CuO. Prinsip dari UV-DRS berdasarkan teori Kubelka-Munk. Berdasarkan teori Kubelka-Munk, jika suatu lapisan material dengan ketebalan x diradiasikan dengan sejumlah energi foton maka material tersebut akan menyerap atau menghamburkan foton. Flux radiasi dapat berada dalam arah positif atau negatif (Torrent; Baron, 2008).

Energi celah pita pada suatu senyawa dapat dicari menggunakan spektrofotometri UV-Vis *diffuse reflectance* yang didasarkan pada pengukuran

intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Metode Kubelka-Munk dapat digunakan untuk mencari energi celah pita (E_g), dimana:

$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi celah pita diperoleh dari grafik hubungan anatara $h\nu$ (eV) vs $(F(R'\infty)h\nu)^{1/2}$. E_g adalah energi celah pita (eV), h adalah konstanta planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s) dan λ adalah panjang gelombang (nm). Energi celah pita semikonduktor adalah besarnya $h\nu$ pada saat $(F(R' \infty)h\nu)^{1/2} = 0$, yang diperoleh dari persamaan regresi linier kurva tersebut (Fiolida, 2016).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Karbon aktif yang dibuat memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995 yaitu karbon aktif yang diaktivasi dengan ZnCl_2 2%.
2. Material komposit dengan perbandingan 3 gram Karbon Aktif : 7 gram CuO merupakan material terbaik sebagai material termoelektrik karena memiliki nilai konduktivitas listrik yang tinggi $20 (\text{M}\Omega \cdot \text{cm})$ dan daya hantar panas yang rendah 4,8 J/s serta tegangan listrik (efek *seebeck*) $7,2 \times 10^{-3} \text{ mV/K}$.
3. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal (D) dan kisi kristal (d) dari material komposit yaitu 14,36 Å dan 2,32 Å. Hasil karakterisasi dengan UV-DRS menunjukkan bahwa *band gap* dari material komposit yaitu 1,37 eV.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan:

1. Material termoelektrik yang dibuat dilanjutkan pada tahap aplikasi untuk membuat generator termoelektrik.
2. Perlu dicari sumber karbon aktif lain untuk membuat komposit material termoelektrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Habibi. 2014. *Struktur dan Sifat Optik Nanopartikel CuO yang di Sintesis dengan Metode Sonokimia*. Bogor: Departemen Fisika FMIPA, Institut Pertanian Bogor.
- Asha. R; Beena. B. 2014. *Structural and Optical Absorption Analysis of CuO Nanoparticles*. University of Kerala. India.
- Campbell, F. C. 2004. *Manufacturing Processes For Advanced Composites*, St. Louis, Missouri.
- Chang, C.F., Chang, C.Y., Tsai, W.T. 2000. *Effect Burn-off and Activation Temperature on Preparation of Activated Carbon from Corn Cob Agrowaste by CO₂ and Steam*. J. Colloid Interface. Sci, **232**, 45-49.
- Chunhua Lai; Junjie Li; Chengjun Pan; Lei wang; Xiaojun Bai. 2016. *Preparation and Characterization of Bi₂Te₃/Graphite/Polythiophene Thermoelectric Composites*. Shenzhen Key Laboratory of Polymer Science and Technology, College of Materials Science and Engineering, China : Shenzhen University.
- Darmanto, J. 2017. *Preparasi dan Karakterisasi Komposit Karbon Aktif Tempurung Kelapa (Cocos nucifera) – Tembaga (II) Oksida (CuO) sebagai Material Termoelektrik*. Padang : UNP.
- Faisal, M., Andynaprawati, I., Putri, P.D.A. 2014. *Pengaruh Komposisi Arang dan Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Kayu Karet*. Jurnal Teknik Kimia, 2(20), 36-44.
- Fiolida, I. A. S. 2016. *Preparasi Dan Karakterisasi Komposit CuO-Zeolit Alam Untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Dengan Sinar Ultraviolet*. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Ghane, M., et al. 2010. *Synthesis and Characterization of a Bi-Oxide nanoparticle ZnO/CuO by Thermal Decomposition of Oxalate Precursor Method*. International Journal of Nano Dimension. ISSN : 2008-8868.
- Gultom, E M & Lubis, M T. 2014. *Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H₃PO₄ untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 3, No. 1.
- Jarman et al. 2013. *Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources*. Faculty of Engineering, Cairo University, Giza, Egypt.