

**PREPARASI MATERIAL TERMOELEKTRIK SISTEM  
CuO-MnO<sub>2</sub> UNTUK APLIKASI GENERATOR  
TERMOELEKTRIK**

**SKRIPSI**

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia sebagai Salah Satu Persyaratan  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



Oleh

**RAHMAD DEDI  
18464.2010**

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

**2014**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

### PREPARASI MATERIAL TERMOELEKTRIK SISTEM CuO-MnO<sub>2</sub> UNTUK APLIKASI GENERATOR TERMOELEKTRIK

Nama : Rahmad Dedi  
NIM/BP : 18464/2010  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Desember 2014

Disetujui oleh

**Pembimbing I**



**Prof. H. Ali Amran, M.A, M.Pd, Ph.D**  
NIP. 19471022 197109 1 001

**Pembimbing II**



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

## HALAMAN PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi  
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

**Judul** : Preparasi Material Termoelektrik Sistem CuO-MnO<sub>2</sub>  
untuk Aplikasi Generator Termoelektrik  
**Nama** : Rahmad Dedi  
**NIM/BP** : 18464/2010  
**Program Studi** : Kimia  
**Jurusan** : Kimia  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Desember 2014

### Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Prof. H. Ali Amran, M.A., M.Pd., Ph.D	1. 
2. Sekretaris	: Ananda Putra, M.Si, Ph.D	2. 
3. Anggota	: Dr. Mawardi, M.Si	3. 
4. Anggota	: Yerimadesi, S.Pd., M.Si	4. 
5. Anggota	: Deski Beri, M.Si	5. 

## **SURAT PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Desember 2014

Yang menyatakan,

Rahmad Dedi

## ABSTRAK

### **Rahmad Dedi (2014) : Preparasi Material Termoelektrik Sistem CuO-MnO<sub>2</sub> untuk Aplikasi Generator Termoelektrik**

Penelitian ini bertujuan untuk membuat material termoelektrik berbahan dasar oksida logam dan mengaplikasikannya sebagai generator termoelektrik. Oksida logam yang digunakan adalah Tembaga (II) Oksida dan Mangan (IV) Oksida. Preparasi material termoelektrik sistem CuO-MnO<sub>2</sub> dilakukan dengan mencampurkan CuO dan MnO<sub>2</sub> dengan beberapa variasi konsentrasi (mol) dan dikalsinasi sampai temperatur 450°C selama 2 jam. Masing-masing sampel dilakukan uji Efek *Seebeck* untuk mendapatkan material yang cocok untuk termoelektrik tipe-*p* dan *n*. Material termoelektrik tipe-*p* dan *n* yang dihasilkan didoping dengan grafit untuk mengurangi hambatan listrik. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa material termoelektrik dari campuran CuO dan MnO<sub>2</sub> dengan perbandingan mol 2:10 cocok untuk tipe-*p*, sedangkan dengan perbandingan mol 10:4 cocok untuk tipe-*n*. Tipe-*p* dan *n* yang didoping grafit dengan perbandingan masa 5:1 merupakan material termoelektrik terbaik dengan hambatan tipe-*p* 1,03 KΩ dan tipe-*n* 16,0 KΩ. Ketika dipasangkan keduanya memiliki hambatan 17,14 KΩ dengan koefisien *Seebeck* 0,585 mV/°C. Dengan menyusun secara seri 50 pasang material ini dan digunakan sebagai generator termoelektrik mampu menghasilkan tegangan listrik sebesar 2,03 V dan daya listrik sebesar 9,22 μW pada temperatur 110 °C.

**Kata Kunci:** *Termoelektrik, CuO-MnO<sub>2</sub>, Efek Seebeck, Koefisien Seebeck, Generator Termoelektrik.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **“Preparasi Material Termoelektrik Sistem CuO-MnO<sub>2</sub> untuk Aplikasi Generator Termoelektrik”**.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana S-1 pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof.H. Ali Amran, M.Pd, M.A, Ph.D. sebagai pembimbing I sekaligus sebagai Penasehat Akademik
2. Bapak Ananda Putra, M.Si, Ph.D. sebagai pembimbing II
3. Ibu Dra. Andromeda, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang
4. Bapak Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D. selaku Ketua Prodi Kimia Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang
6. Kedua Orang Tua yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam melakukan setiap aktivitas penelitian.

7. Rekan-rekan mahasiswa Universitas Negeri Padang, dll.

Skripsi ini telah ditulis dengan sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan yang penulis miliki dan arahan dari dosen pembimbing. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan-kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk kesempurnaan skripsi ini. Semoga bimbingan, arahan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal ibadah dan diridhoi oleh Allah SWT.

Padang, Desember 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Identifikasi masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Rumusan Masalah .....	4
1.5. Tujuan Penelitian .....	4
1.6. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Material Termoelektrik .....	6
2.2. Jenis-jenis Material Termoelektrik .....	11
2.3. Aplikasi Material Termoelektrik.....	16
2.4. Tembaga (II) Oksida .....	18
2.5. Mangan (IV) Oksida .....	19
2.6. Multimeter.....	20
2.7. Fourier Transform Infra Red (FTIR).....	20
BAB III METODE PENELITIAN .....	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.2. Bahan dan Peralatan .....	21

3.3. Prosedur Penelitian.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1. Preparasi material termoelektrik sistem CuO-MnO <sub>2</sub> .....	25
4.2. Pengaruh Penambahan Grafit Pada Material Termoelektrik .....	31
4.3. Koefesien <i>Seebeck</i> Material Termoelektrik sistem CuO-MnO <sub>2</sub> didoping Grafit .....	35
4.5. Spectra FTIR material termoelektrik sistem CuO-MnO <sub>2</sub> .....	36
4.6 Generator Termoelektrik.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1. Kesimpulan .....	40
5.2. Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA .....	41
LAMPIRAN.....	43

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Percobaan <i>Seebeck</i> tentang fenomena termoelektrik.....	6
2.2. Susunan logam yang menjelaskan tentang termoelektrik dan efek <i>Seebeck</i> .....	8
2.3. Ilustrasi aplikasi material pada modul termoelektrik; (a) pendingin termoelektrik, (b) generator termoelektrik.....	9
2.4. Prinsip terjadinya perbedaan potensial listrik pada material termoelektrik (efek <i>Seebeck</i> ).....	10
2.5. Ilustrasi material termoelektrik material logam.....	12
2.6. Susunan semikonduktor tipe- <i>n</i> dan <i>p</i> untuk menjadi material termoelektrik.....	14
2.7. Susunan material termoelektrik.....	15
2.8. Contoh produk komersial termoelektrik generator.....	15
2.9. Struktur kristal monoklin Tembaga (II) oksida (CuO).....	18
2.10. Struktur oktahedral Mangan (IV) oksida (MnO <sub>2</sub> ).....	19
3.1. Rancangan generator termoelektrik.....	24
4.1. Material termoelektrik yang telah dicetak.....	26
4.2. Susunan sampel untuk pengujian.....	26
4.3. Grafik pengukuran tegangan material termoelektrik berdasarkan perbedaan perbandingan komposisi CuO dan MnO <sub>2</sub> (CuO didoping Mn) pada temperatur: a) 60°C, b) 100 °C, c) 140 °C, d) 200 °C.....	27
4.4. Grafik pengukuran tegangan material termoelektrik berdasarkan perbedaan perbandingan komposisi CuO dan MnO <sub>2</sub> (MnO <sub>2</sub> didoping Cu) pada temperatur: a) 60°C, b) 100 °C, c) 140 °C, d) 200 °C.....	29
4.5. Grafik hubungan temperatur dan tegangan listrik yang dihasilkan material termoelektrik.....	30
4.6. Grafik hubungan pengaruh penambahan grafit pada material termoelektrik dengan beberapa perbandingan komposisi.....	33

4.7. Grafik Koefisien efek <i>Seebeck</i> pasangan Material tipe- <i>p</i> dan <i>n</i> yang didoping dengan grafit.....	35
4.8. Spektra FTIR material termoelektrik tipe- <i>p</i> dan <i>n</i> .....	36
4.9. Spektra FTIR material termoelektrik tipe- <i>p</i> dan <i>n</i> yang didoping dengan Grafit.....	37
4.10. Generator Termoelektrik.....	38
4.11. Grafik pengaruh kenaikan temperatur terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator termoelektrik.....	39
4.12. Grafik pengaruh kenaikan temperatur terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh generator termoelektrik.....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Sifat-saifat khas Tembaga (II) Oksida (CuO).....	19
2.2. Sifat-saifat khas Mangan (IV) Dioksida (MnO <sub>2</sub> ).....	20
3.1. Variasi pengujian material.....	22
4.1. Hambatan Sampel Termoelektrik Yang Didoping Grafit.....	31
4.2. Hambatan dengan variasi ketebalan dan lebar.....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Digram alir prosedur penelitian.....	43
2. Stoikiometri perbandingan tembaga (II) Oksida dan Mangan (IV) Oksida.....	44
3. Data hasil penelitian.....	45
4. Dokumentasi Penelitian.....	47

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini, dimana hampir semua aktifitas manusia berhubungan dengan energi listrik. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan tingkat populasi penduduk yang semakin tinggi, maka permintaan energi listrik akan meningkat. Berbagai upaya telah banyak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut termasuk pencarian dan pengembangan sumber energy listrik yang terbarukan.

Di sisi lain energi panas juga banyak digunakan demi kelangsungan hidup manusia. Berbagai sumber energi panas seperti dari matahari, panas bumi, panas pembakaran dan lain-lain belum dimanfaatkan manusia secara maksimal, sehingga sebagian besar energi panas terbuang begitu saja. Selain itu sumber energi panas dari limbah industri (pabrik), dari kegiatan antropogenik manusia seperti kendaraan bermotor (*automotive*), pemakaian AC (*air conditioning*) dan lain-lain, akan manambah energi panas yang terbuang.

Energi panas yang jumlahnya berlebih dan selama ini belum dimanfaatkan dapat dikonversi menjadi energi listrik, terutama untuk energi listrik 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).

Untuk mengkonversi panas menjadi listrik digunakan material material termoelektrik. Material termoelektrik adalah bahan unik yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik, atau sebaliknya, tanpa menghasilkan polutan.

Sejauh ini perkembangan material termoelektrik masih didominasi oleh material semikonduktor berbahan metaloid seperti silikon, bismut, telurium, germanium, selenium dan bahan-bahan semikonduktor lainnya yang harganya dipasaran sangat tinggi dan tidak stabil pada suhu tinggi. Oleh karena itu sangat perlu dicari alternatif material pengganti metaloid. Oksida logam diperkirakan dapat digunakan sebagai bahan pengganti metaloid tersebut karena bahan oksida logam umumnya bersifat semikonduktor, sifat kimiawinya yang stabil dan tidak beracun (Sutjahja, 2011).

Penggunaan material oksida logam banyak diteliti para ahli diantaranya oleh Liou dan kawan-kawan (2010) yang berhasil mensintesis keramik termoelektrik  $\text{Cu}(\text{Al,Fe})\text{O}_2$  dengan metoda reaksi sintering. Lusiana dan kawan-kawan (2010) meneliti tentang Kalsium Mangan Oksida untuk aplikasi termoelektrik dan material ini cocok untuk termoelektrik tipe- $n$ .

Pada penelitian ini dicari alternatif material lainnya yang harganya relatif murah seperti oksida logam tembaga dan mangan. Mangan(IV) Oksida ( $\text{MnO}_2$ ) banyak dimanfaatkan sebagai pengisi baterai, pestisida, katalis, dll.  $\text{MnO}_2$  merupakan semikonduktor tipe- $n$  dan memiliki *band gap* yang juga kecil yakni 1,3 eV. *Band gap* tersebut dianggap kecil dan mendekati *band gap* semikonduktor yang sering digunakan sebagai material termoelektrik (Si, Te, Bi, Ge dll).

Selain itu Tembaga(II) Oksida (CuO) juga memiliki beberapa sifat yang unik yang banyak dimanfaatkan untuk fotokatalis, semikonduktor, anti bakteri, sensor gas, dll. CuO merupakan semikonduktor tipe-*p* dan memiliki *band gap* kecil yakni 1,2 eV (Mohapatra dan Anand, 2010).

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk meneliti tentang CuO dan MnO<sub>2</sub> untuk aplikasi termoelektrik. Diharapkan dengan penggunaan oksida tembaga sebagai bahan termoelektrik dapat menjadi bagian material termoelektrik dengan kualitas yang baik, ramah lingkungan, dan ekonomis.

## **1.2. Identifikasi masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat diidentifikasi berbagai masalah diantaranya;

1. Kebutuhan energi listrik meningkat.
2. Penyediaan sumber energi listrik perlu alternatif baru.
3. Masih banyak sumber energi listrik yang belum dimanfaatkan seperti dari energi panas.
4. Pengembangan energi listrik alternatif dari energi panas (generator termoelektrik) masih didominasi oleh penggunaan semikonduktor berbahan Bi, Si, Te, dan lain-lain yang harganya sangat mahal.
5. Penggunaan Oksida Logam sebagai pengganti bahan semikonduktor jenis Bi, Si, Te, dan lain-lain masih dalam tahap penelitian belum pada tahap aplikasi.

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pembuatan material termoelektrik dengan menggunakan bahan CuO dan MnO<sub>2</sub> dan mengaplikasikan pada generator termoelektrik.

### 1.4. Rumusan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah maka rumusan masalahnya adalah;

1. Bagaimana mempersiapkan material termoelektrik sistem CuO-MnO<sub>2</sub> untuk mendapatkan material termoelektrik tipe-*p* dan tipe-*n*?
2. Bagaimana mempersiapkan material termoelektrik sistem CuO-MnO<sub>2</sub> tipe-*p* dan tipe-*n* yang didoping dengan grafit dengan Koefesien *Seebeck* yang tinggi?
3. Bagaimana mengaplikasikan material CuO-MnO<sub>2</sub> menjadi generator termoelektrik?

### 1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini diantaranya:

1. Mempersiapkan material termoelektrik sistem CuO-MnO<sub>2</sub> untuk mendapatkan material termoelektrik tipe-*p* dan tipe-*n*.
2. Mempersiapkan material termoelektrik sistem CuO-MnO<sub>2</sub> tipe-*p* dan tipe-*n* yang didoping dengan grafit dengan koefesien *seebeck* yang tinggi.
3. Mengaplikasikan material CuO-MnO<sub>2</sub> menjadi generator termoelektrik

## **1.6. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini diantaranya:

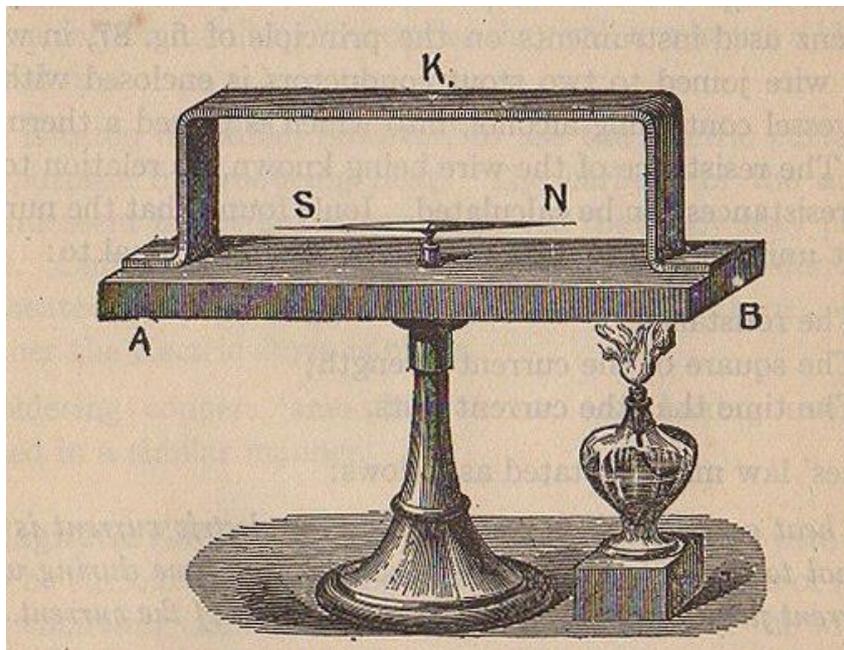
1. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang material termoelektrik sistem CuO-MnO<sub>2</sub>.
2. Memberi informasi tentang aplikasi tembaga oksida dan mangan dioksida untuk membuat generator termoelektrik dan juga untuk memanfaatkan energi panas yang sangat melimpah.
3. Bahan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Material Termoelektrik

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

Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika salah satu sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Hal ini terjadi karena adanya aliran listrik yang muncul pada logam tersebut dan arus listrik tersebut menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas seperti terlihat pada gambar 2.1. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek *Seebeck* (Lee, 2009).



Gambar 2.1. Percobaan Seebeck tentang fenomena termoelektrik (Gustavo,2010)

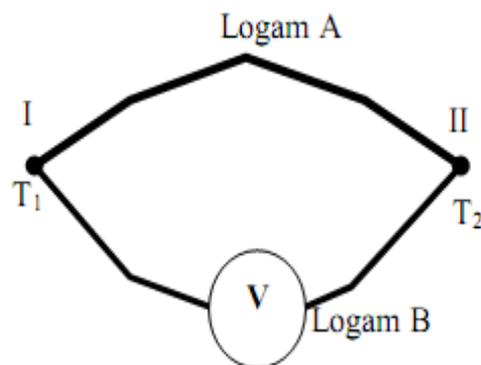
Pada tahun 1913 W.W. Coblentz melakukan penelitian tentang termoelektrik dengan menggunakan tembaga dan konstantan (campuran nikel dan tembaga). Efisiensi konversi yang dihasilkan sebesar 0,008% dan berhasil membangkitkan energi listrik sebesar 0,6 mW.

A.F. Ioffe melanjutkan lagi dengan bahan-bahan semikonduktor dari golongan II-V, IV-VI, V-VI yang saat itu mulai berkembang. Hasilnya cukup mengejutkan, dimana efisiensinya meningkat menjadi 4%. Ioffe melakukan satu lompatan besar di mana ia berhasil menyempurnakan teori yang berhubungan dengan material termoelektrik. Hasil penelitian Ioffe itu dibukukan tahun 1956 yang kemudian menjadi rujukan para peneliti hingga saat ini (Lusiana, 2010).

Efisiensi konversi yang masih rendah dan tidak bertambah penelitian termoelektrik sempat menghilang selama lima dasawarsa dan muncul kembali tahun 1990-an. Ada tiga alasan yang mendukung penelitian ini muncul kembali. Pertama, ada harapan besar ditemukannya material termoelektrik dengan efisiensi yang tinggi, yaitu sejak ditemukannya material superkonduktor High-T<sub>c</sub> pada awal tahun 1986 dari bahan yang selama ini tidak diduga (material keramik). Kedua, sejak awal 1980-an, teknologi material berkembang pesat dengan berkembangnya sintesis nanomaterial. Teknologi analisis dengan X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), Ultraviolet Photo Spectroscopy (UPS), Scanning Tunneling Microscopy (STM) juga memudahkan analisis struktur material. Ketiga, pada awal tahun 1990, tuntutan dunia tentang teknologi yang ramah lingkungan sangat besar. Ini memberikan imbas kepada teknologi termoelektrik sebagai sumber energi alternatif.

### 2.1.2. Prinsip dan Fenomena Termoelektrik

Pada prinsipnya material termoelektrik merupakan susunan dua tipe material termoelektrik yang berbeda yang disambungkan satu sama lain. Ada tiga efek utama yang terlibat dalam termoelektrik yaitu Efek *Seebeck*, Efek *Peltier* dan Efek *Thomson*. Efek *Seebeck* merupakan fenomena dimana adanya tegangan listrik yang muncul ketika adanya perbedaan temperatur pada suatu sambungan dua buah material yang berbeda. Penemuan Thomas Johann Seebeck tentang Efek *Seebeck* ini dapat digambarkan seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2. Susunan logam yang menjelaskan tentang termoelektrik dan efek *Seebeck*.

Tegangan listrik yang muncul dapat dinyatakan sebagai berikut:

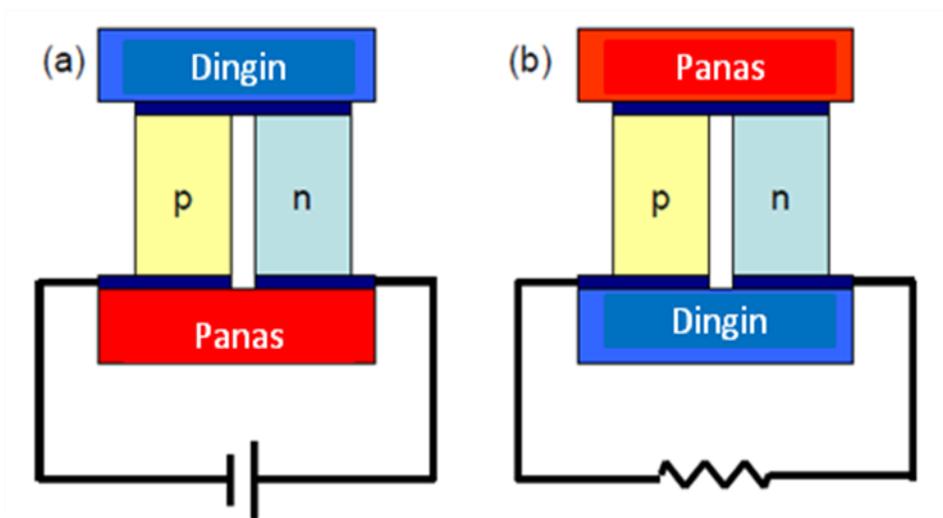
$$S = \frac{dV}{dT} \quad \text{atau} \quad dV = S dT$$

Namun jika perbedaan tegangan dan temperatur tinggi dapat digunakan persamaan

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

di mana  $V$  adalah tegangan termoelektrik,  $T$  adalah temperatur, dan  $S$  adalah Koefisien *Seebeck* (efek *Seebeck* terkadang juga dilambangkan dengan  $\alpha$ ).

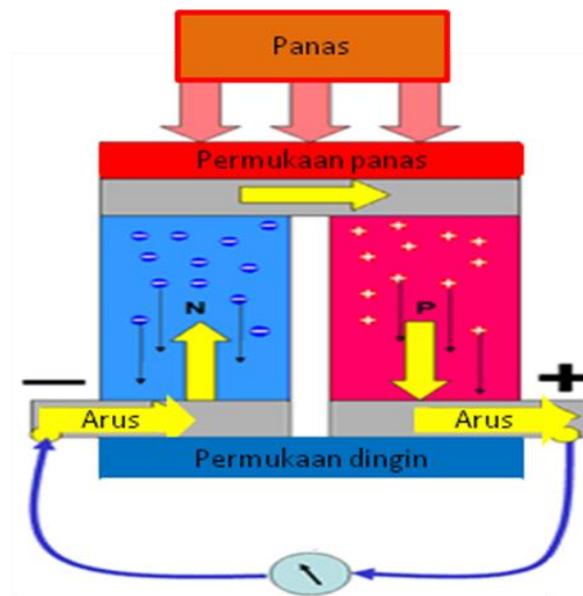
Efek *Peltier* adalah kebalikan dari Efek *Seebeck*. Dimana akan terjadinya perbedaan suhu pada suatu material karena adanya tegangan listrik. Efek *Thomson* berkaitan perbedaan arus termal reversibel dan medan listrik dalam konduktor homogen. Efek termoelektrik tersebut diterapkan dalam modul termoelektrik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



Gambar 2.3. Ilustrasi aplikasi material pada modul termoelektrik ; (a) pendingin termoelektrik, (b) generator termoelektrik (Zheng,2008)

Pada gambar 2.3 dapat dilihat bahwa material termoelektrik yang digunakan untuk mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung disebut generator termoelektrik dan sebaliknya, material termoelektrik yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi panas dan dingin disebut pendingin termoelektrik. Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah arus listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai.

Pada material logam dan semikonduktor terdapat partikel pembawa muatan yakni elektron dan *hole*. Pada semikonduktor tipe-*n* yang kaya akan elektron ketika dipanaskan maka elektron akan bergerak menuju temperatur yang lebih rendah. Sedangkan pada semikonduktor tipe-*p*, *hole* yang mendapatkan energi panas akan menarik dan mengikat elektron dari temperatur yang lebih rendah sehingga seolah-olah *hole* berpindah menuju temperatur yang lebih rendah tersebut. Dengan terakumulasinya elektron dan *hole* pada temperatur yang lebih rendah tersebut, maka akan ada perbedaan potensial listrik sehingga arus listrik dapat mengalir. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Prinsip terjadinya perbedaan potensial listrik pada material termoelektrik (Efek *Seebeck*) (<http://www.mpoweruk.com>)

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

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{\kappa_e + \kappa_l}$$

Dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas listrik,  $S$  adalah koefisien *Seebeck*,  $T$  adalah temperatur operasi rata-rata dan  $\kappa$  adalah konduktivitas termal. Nilai  $ZT$  yang semakin tinggi menandakan sifat termoelektrik yang semakin baik. Namun untuk aplikasinya tidak semata memandang nilai  $ZT$  tapi juga kestabilan bahan, dampak terhadap lingkungan, konstruksi optimum, teknik coating, teknik modulasi dan lain-lain (Sano, 2003).

Idealnya, material termoelektrik memiliki Efek *Seebeck* dan konduktivitas listrik tinggi, sedangkan konduktivitas panasnya rendah. Namun pada kenyataannya sangat sulit mendapatkan material seperti ini, karena umumnya jika konduktivitas listrik suatu material tinggi, konduktivitas panasnya juga tinggi. Semakin besar nilai *figure of merit*, semakin baik efisiensi generator termoelektrik atau pendingin termoelektrik (Zheng, 2008).

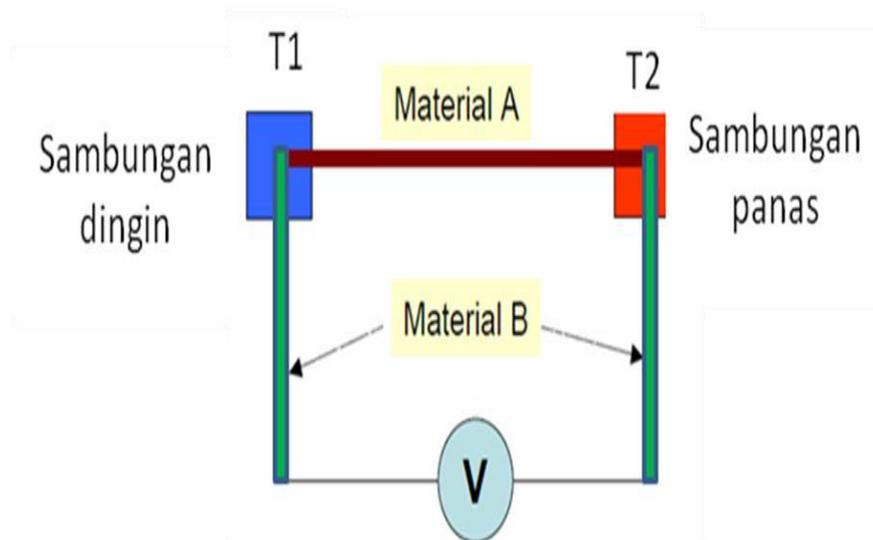
## 2.2. Jenis-jenis Material Termoelektrik

Material yang digunakan untuk mengkonversi energi termal menjadi listrik atau sebaliknya disebut material termoelektrik. Material termoelektrik tersebut merupakan dua jenis bahan/material yang berbeda yang disambungkan satu sama lain. Material termoelektrik ada tiga jenis yaitu material jenis logam, semikonduktor dan oksida logam.

### 2.2.1. Material Logam

Material termoelektrik yang pertama diteliti adalah dari logam. Sambungan dua jenis logam atau logam campuran, yang salah satu

sambungan diberi perlakuan suhu yang berbeda dengan sambungan lainnya, maka akan dihasilkan arus dan tegangan listrik seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Ilustrasi material termoelektrik material logam.

Sambungan logam pada termoelektrik terdiri dari dua sambungan, yaitu :

1. Sambungan dingin, merupakan sambungan yang suhunya dijaga konstan atau di
2. Sambungan panas, merupakan sambungan yang dipanaskan sehingga suhunya lebih tinggi.

Dua buah kawat logam yang berbeda ( A dan B ) yang ujung-ujungnya disambungkan satu sama lain membentuk suatu rangkaian tertutup, bila kedua sambungan diberi suhu yang berbeda (T1 dan T2) dan kita pasang galvanometer pada rangkaian tersebut akan timbul arus listrik (I), yang ditunjukkan oleh penyimpangan jarum galvanometer. Penggunaan logam untuk meterial termolektrik diaplikasikan pada termokopel, pengukur suhu *furnace* dan lain-lain (Karim,2003).

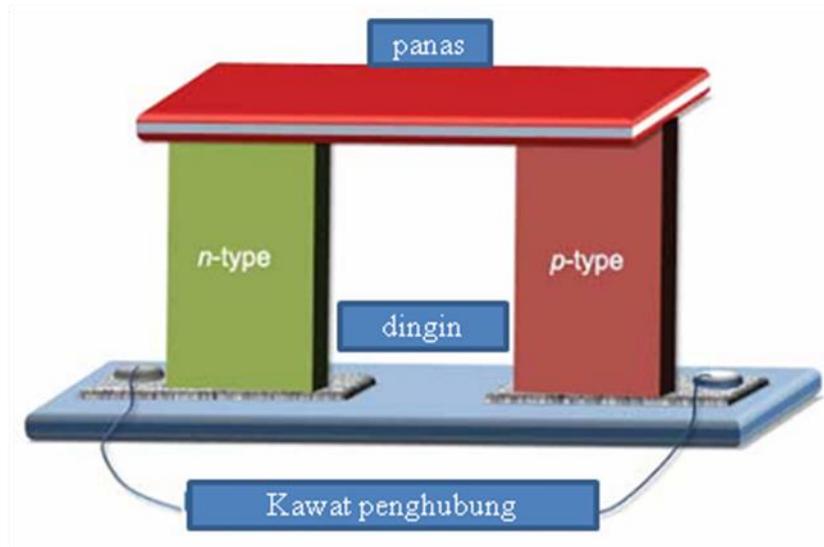
### 2.2.2 Material Semikonduktor

Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Semikonduktor memiliki harga resistivitas listrik pada suhu kamar dalam rentang  $10^2$ - $10^9$   $\Omega$ /cm. Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktivitasnya dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut doping). Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor dan IC (integrated circuit). Bahan semikonduktor yang banyak dikenal adalah silikon (Si), germanium (Ge) dan Galium Arsenida (GaAs).

Semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor Intrinsik merupakan semikonduktor yang terdiri atas satu unsur saja, misalnya Si saja atau Ge saja. Semikonduktor Ekstrinsik adalah semikonduktor yang telah terkotori atau didoping oleh atom dari jenis lainnya. Ketidakmurnian dalam semikonduktor ekstrinsik dapat menyumbangkan elektron maupun *hole* dalam pita energi.

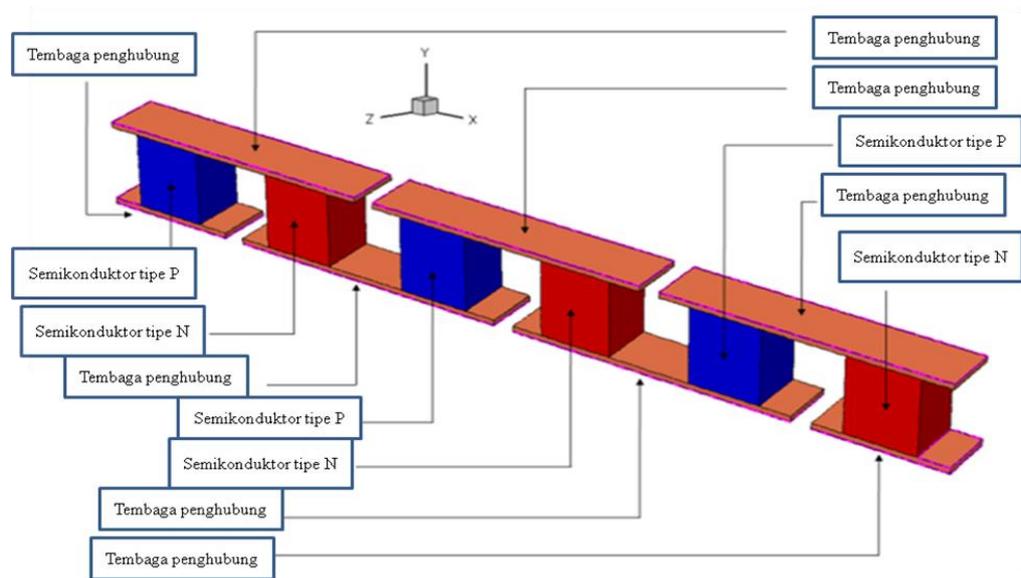
Terdapat tiga jenis semikonduktor ekstrinsik yaitu semikonduktor tipe-*n*, semikonduktor tipe-*p*, dan semikonduktor paduan. Semikonduktor dengan konsentrasi elektron lebih besar dibandingkan konsentrasi *hole* disebut semikonduktor tipe-*n*. sedangkan semikonduktor tipe-*p* merupakan semikonduktor dengan konsentrasi lubang lebih tinggi dibandingkan elektron. Semikonduktor Paduan (compound semiconductor) dapat diperoleh dari unsur valensi tiga dan valensi lima (paduan III-V, misalnya GaAs atau GaSb) atau dari

unsur valensi dua dan valensi enam (paduan II-VI, misalnya ZnS), oksida logam transisi.

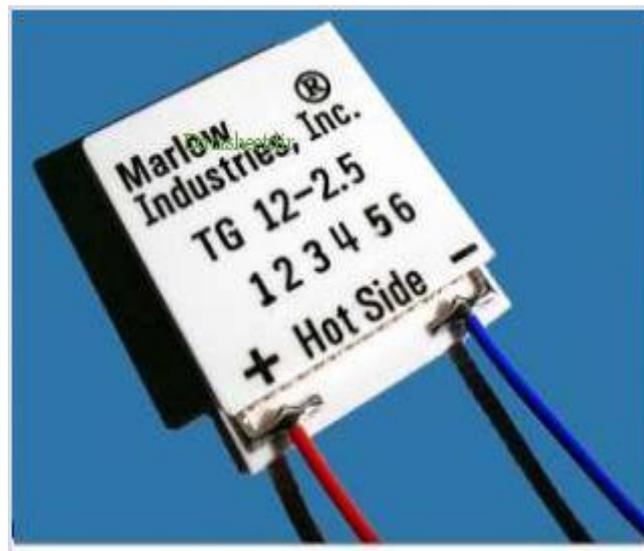


Gambar 2.6. Susunan semikonduktor tipe- $n$  dan  $p$  untuk menjadi material termoelektrik

Perkembangan material termoelektrik didominasi oleh material semikonduktor terutama paduan PbSi, PbTe, PbBi dan TeBi. Penggunaan material semikonduktor untuk menjadi material termoelektrik dapat dilihat seperti gambar 2.6 diatas. Material semikonduktor yang digunakan dalam bentuk pellet dan antara semikonduktor tipe- $n$  dan  $p$  dihubungkan oleh logam tembaga (*interconnect metal*). Dalam beberapa produk komersial yang dipasarkan, modul termoelektrik akan disusun seperti gambar 2.7 dan akan dikemas seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.7. Susunan material termoelektrik (<http://www.intechopen.com>)



Gambar 2.8. Contoh produk komersial generator termoelektrik (<http://www.datasheetdir.com>)

### 2.2.3. Material Oksida Logam

Dibandingkan dengan bahan termoelektrik yang lain, bahan oksida logam memiliki sifat kimiawinya yang lebih stabil pada temperatur tinggi dan tidak beracun. Pada umumnya oksida logam transisi memiliki sifat semikonduktor.

Loncatan besar pada investigasi material oksida logam untuk termoelektrik dimulai dengan penemuan sistem oksida kobalt berlapis  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  dengan nilai efek Seebeck ( $S$ ) mencapai  $100 \mu\text{V/K}$  pada temperatur ruang. Selain bersifat termoelektrik, bentuk hidrat dari material ini juga bersifat superkonduktif pada suhu rendah. Penemuan ini kemudian berlanjut pada sistem serupa seperti  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ ,  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$  dan  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$  (Sutjahja, 2011).

Oksida  $\text{CaMnO}_3$  menunjukkan mekanisme konduksi mirip dengan  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CrO}_3$ . Substitusi Ca dengan Bi meningkatkan nilai  $\sigma$  (konduktivitas termal) pada suhu kamar.  $(\text{Ca}_{0,9}\text{Bi}_{0,1})\text{MnO}_3$  menunjukkan faktor daya  $2 \times 10^{-4} \text{ W/mK}^2$ . Baru-baru ini, Oksida  $\text{CaMnO}_3$  diketahui sebagai semikonduktor tipe-n dan memiliki sifat termoelektrik (Lusiana, 2010).

### 2.3. Aplikasi Material Termoelektrik

Saat ini banyak aplikasi penggunaa energi termoelektrik yang sedang dikembangkan saat ini, seperti pemanfaatan perbedaan panas di dasar laut dan darat, atau pemanfaatan panas bumi, pemanfaatan panas matahari, panas buangan pada industri, panas hasil kegiatan antropogenik dan lain-lain. Kesulitan terbesar dalam pengembangan energi ini adalah mencari material termoelektrik yang memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi.

Material yang banyak digunakan saat ini adalah  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$ , dan  $\text{SiGe}$ . Saat ini  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  memiliki figure of merit tertinggi. Namun, karena terurai dan teroksidasi pada suhu di atas  $500^\circ \text{C}$ , pemakaiannya masih terbatas.

Pada awalnya material termoelektrik diaplikasikan pada termokopel. Termokopel menggunakan dua buah logam yang berbeda yang digunakan untuk

mengukur temperatur. Pesawat luar angkasa Voyager I dan II juga menerapkan konsep termoelektrik untuk menghasilkan listrik dengan sumber panas dari radiasi plutonium, sehingga sampai saat ini pesawat luar angkasa tersebut masih bisa beroperasi dan mengirimkan data pada satelit di bumi.

Contoh lain yang menarik adalah yang dilakukan oleh Seiko Co Ltd. Seiko memasarkan jam termoelektrik sejak tahun 1998 dengan nama Seiko Thermic. Jam tangan ini memanfaatkan perbedaan suhu tubuh dan suhu sekitarnya. Bahan yang digunakan, bismut-tellurium, mampu menghasilkan listrik sebesar  $0,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Jika 1.000 buah material tersebut dipasang seri, tentu akan menghasilkan tegangan listrik  $0,2 \text{ V}$  dalam setiap perbedaan  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Untuk itu, Seiko membuat unit pembangkit listrik, terdiri atas 10 buah modul termoelektrik yang masing-masing berisi 100 kawat mikro. Dari setiap unit inilah dihasilkan energi listrik sebesar  $0,15 \text{ V}$  untuk mengisi baterai litium pada jam tersebut.

Aplikasi dalam pendingin termoelektrik lebih luas lagi. Pendingin minuman hotel-hotel di Jepang sudah banyak yang mempergunakan teknologi ini. Pendingin termoelektrik dapat diletakkan dengan leluasa di bawah tempat tidur karena tidak menimbulkan suara dan getaran.

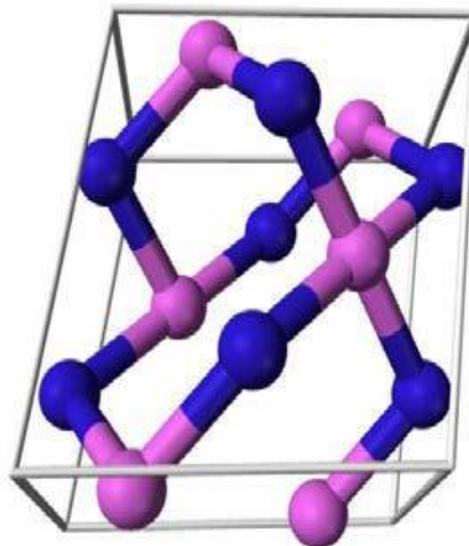
Mitsubishi saat ini juga sudah memproduksi kulkas termoelektrik yang mampu menghemat energi 20 persen dibandingkan dengan kulkas biasa. Dalam dunia komputer, termoelektrik dipergunakan untuk mendinginkan CPU komputer.

Toshiba mengembangkan sebuah alat yang dapat mendinginkan sumber panas itu sendiri. Panas yang dihasilkan dari sumber panas dalam komputer

digunakan untuk membangkitkan listrik, kemudian listrik itu dipergunakan untuk memutar kipas yang diarahkan ke sumber panas. Perangkat ini mampu menurunkan panas sekitar 32 °C (Lusiana,2010).

#### 2.4. Tembaga(II) Oksida

Beberapa oksida logam transisi seperti CuO, ZnO , MnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan lain-lain, berpotensi untuk diaplikasi terutama sebagai semikonduktor dan katalis. Tembaga(II) Oksida (CuO) juga merupakan salah satu dari oksida logam yang memiliki potensi aplikasi aplikasi di berbagai bidang. CuObanyak diaplikasikan pada perangkat elektronik dan optoelektronik, seperti sel elektro kimia, sensor gas, perangkat penyimpanan magnetik, emitter lapangan, high- Tc Super konduktor, cairan Nano, dan katalis. CuO yang dikenal sebagai bahan semikonduktor tipe-p dengan energi celah pita 1,2 eV (Aparna, 2012).



Gambar 2.9. Struktur kristal monoklin Tembaga(II) Oksida (CuO)  
(Aparna, 2012)

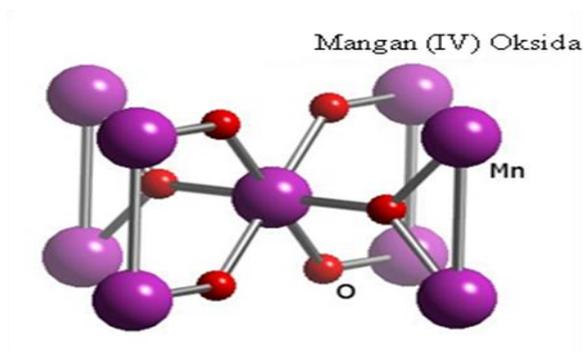
Beberapa sifat –sifat CuO diantaranya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat-sifat khas Tembaga(II) Oksida (CuO)

Sifat	Nilai
Struktur kristal	Monoklin
Massa jenis	6,32 gr/cm <sup>3</sup>
Titik leleh	1134 <sup>0</sup> C
Wujud	Padatan hitam keabu-abuan
Band gap	1,2 Ev
Dekomposisi termal	T>850 <sup>0</sup> C

## 2.5. Mangan(IV) Oksida

Mangan(IV) oksida, MnO<sub>2</sub> banyak diaplikasikan mulai dari katalis, pengisi baterai dan aplikasi penyimpanan karbon. Mn adalah logam multivalen, dan dengan demikian membentuk oksida dengan beberapa berbeda stoichiometri. Untuk fase MnO<sub>2</sub>, bilangan oksidasinya adalah Mn<sup>4+</sup>. Sifat-sifat MnO<sub>2</sub> adalah: berupa padatan, berwarna hitam keabu-abuan, terdekomposisi pada temperatur 535<sup>0</sup>C dengan kehilangan Oksigen. Mangan dioksida memiliki bentuk kristal octahedral seperti terlihat pada gambar 10. Energi celah pitanya adalah 1,3 eV ( Cockayne, 2012).



Gambar 2.10. Struktur oktahedral Mangan(IV) Oksida (MnO<sub>2</sub>) (Cockayne, 2012).

Tabel 2.2. Sifat-sifat khas Mangan(IV) Oksida ( $\text{MnO}_2$ )

Sifat	Nilai
Struktur kristal	Oktahedral
Massa jenis	5,026 gr/cm <sup>3</sup>
Titik leleh	535 <sup>0</sup> C
Wujud	Padatan Hitam kecoklatan
Band gap	1,3 eV
Dekomposisi termal	T>535 <sup>0</sup> C

## 2.6. Multimeter

Multimeter sering disebut AVO meter atau multimeter, alat ini biasa dipakai untuk mengukur harga resistensi (tahanan), tegangan dan arus listrik (Tim fakultas teknik, 2001). Pada penelitian ini multimeter akan digunakan untuk mengukur tegangan untuk menguji efek Seebeck dan resistifitas sampel.

## 2.7. Fourier Transform Infra Red (FTIR)

FTIR adalah alat untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam molekul atau ikatan kovalen yang ada pada suatu material. FTIR pada umumnya digunakan untuk identifikasi senyawa organik karena gugus fungsinya lebih spesifik namun dapat juga digunakan pada bahan atau senyawa anorganik dengan adanya sifat non simetris molekul dari senyawa yang akan diidentifikasi. Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk melihat spektra infra red dari material termoelektrik.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Material termoelektrik berhasil dibuat dengan memvariasikan perbandingan mol oksida sehingga didapatkan material  $Mn_{0,4}CuO_x$  sebagai tipe-*n* dan  $Cu_{0,2}MnO_x$  sebagai tipe-*p*.
2. Material  $Mn_{0,4}CuO_x$  sebagai tipe-*n* dan  $Cu_{0,2}MnO_x$  sebagai tipe-*p* yang didoping dengan grafit dengan perbandingan masing-masing material dengan grafit 5:1 memiliki koefisien *seebeck*  $0,585 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .
3. Generator termoelektrik yang dibuat mampu menghasilkan tenaga listrik dengan daya  $9,22 \mu\text{W}$  dan tegangan listrik  $2,03 \text{ V}$  pada temperature  $110^\circ\text{C}$ . Dibandingkan dengan generator termoelektrik komersial generator ini memiliki kemampuan yang hampir sama untuk menghasilkan tegangan listrik walaupun daya listriknya masih kecil.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan:

1. Melakukan karakterisasi material termoelektrik system  $CuO-MnO_2$  yang didoping dengan Grafit menggunakan SEM, TGA dan XRD.
2. Penggunaan Grafit murni untuk pendopongan material.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aparna, Y., K.V. Enkateswara Rao and P. Srinivasa Subbarao. 2012. Synthesis and Characterization of CuO Nano Particles by Novel Sol- Gel Method. *International Conference on Science: Lingkungan dan Bioteknologi*. IPCBEE vol.48, IACSIT Press. Singapore DOI: 10.7763/IPCBEE . 2012. V48 . 30
- Cai, K.F., L. Wang, J.L. Yin and C.W. Zhou. 2008. Synthesis and Characterization of Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Thermoelectric Nanopowders. *The Open Crystallography Journal*, 2008, 1, 14-17.
- Chan, J.T., etc. 2008. CuO Nanowires Synthesized By Thermal Oxidation Route. *Journal of Alloy and compounds*. Vol: 454 (2008) hal. 268-273.
- Chen, Alic. Deepa Madan, Brian T., Mahlstedt, Paul K. Wright and James W. Evans. 2011. Dispenser-Printed Thick Film Thermoelectric Materials. Presenting Author: alic.chen@berkeley.edu
- Chen, Ying-Hung, Li-Chieh Chang, Ming-Yao Hsiao dan Ju-Liang He . P-type CuO Deposited on Polyethylene Terephthalate Substrate Using High Power Impulse Magnetron Sputtering. Department of Materials Science and Engineering, Feng Chia University, Taiwan.
- Cockayne, Eric and Lan Li. 2012. First-Principles Studies of the Atomic, Electronic, and Magnetic Structure of  $\alpha$ -MnO<sub>2</sub> (Cryptomelane). Ceramics Division, Material Measurement Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Maryland USA. <http://www.webelements.com>. Diakses tanggal 26 April 2014.
- Herwaarden, W. Van And P. M. Sarro. 1986. Thermal Sensors Based On The Seebeck Effect. *Sensors and Actuators*. 10 321 . 346 321.
- Karim, Saeful dan Sunardi. 2003. Penentuan elektromotansi termal beberapa jenis termokopel dengan pasangan logam yang bervariasi. *Jurnal FMIPA UPI*. Bandung: FMIPA UPI.
- Kasap, Safa. 2001. Thermoelektrik Effects in metal: thermocouples. *E-Booklet*. Department of Electrical engineering. University of saskatchewan. Canada.
- Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. 2006. *Indonesia Buku Putih 2005 – 2025 ; Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025*. Jakarta: Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia.