

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA
SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq*) SEBAGAI MATERIAL
TERMOELEKTRIK SISTEM C – CuO**

SKRIPSI



Oleh:

M.SADIQ FARRAS

NIM/TM. 18036058/2018

PROGRAM STUDI KIMIA

DEPARTEMEN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2022

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA
SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq) SEBAGAI MATERIAL
TERMOELEKTRIK SISTEM C – CuO**

SKRIPSI

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



Oleh:

M.SADIQ FARRAS

NIM/TM. 18036058/2018

PROGRAM STUDI KIMIA

DEPARTEMEN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

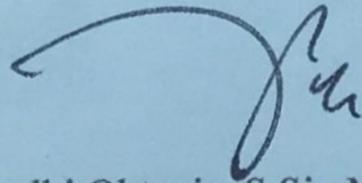
PEMANFAATAN KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq*) SEBAGAI MATERIAL TERMOELEKTRIK SISTEM C-CuO

Nama : M. Sadiq Farras
NIM : 18036058
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

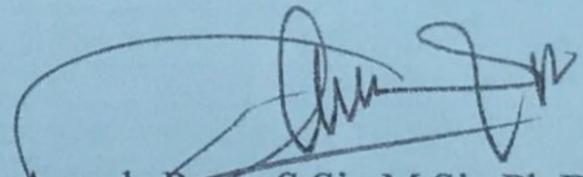
Padang, Agustus 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Kimia

Disetujui Oleh
Pembimbing



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



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

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

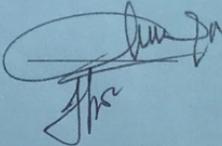
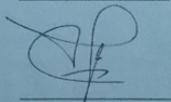
Nama : M. Sadiq Farras
NIM : 18036058
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PEMANFAATAN KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq*) 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, Agustus 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D.	
Anggota	: Hary Sanjaya, S.Si., M.Si.	
Anggota	: Dr. Fajriah Azra, S.Pd., M.Si.	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

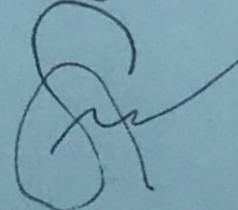
Nama : M. Sadiq Farras
NIM/TM : 18036058 / 2018
Tempat/Tanggal Lahir : Pariaman / 01 September 2000
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Dusun Tabiang, Kampung Gadang, Pariaman Timur
No. HP/Telp : 081270565430
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) sebagai Material Termoelektrik Sistem C-CuO

Dengan ini menyatakan bahwa:

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

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

Padang, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan



M. Sadiq Farras
NIM. 18036058

Pemanfaatan Karbon Aktif Pelelah Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C – CuO

M.Sadiq Farras

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah pelelah kelapa sawit dijadikan komposit karbon aktif – CuO sebagai material termoelektrik telah berhasil dibuat. Pada waktu 75 menit suhu 370 °C adalah waktu dan suhu yang bagus pembuatan karbon serta dengan lama waktu aktivasi 11 jam untuk karbon aktif. Pencampuran karbon aktif dengan CuO menggunakan refluks adalah proses pembuatan komposit material. Material komposit perbandingan 3 gram karbon aktif : 7 gram CuO dengan ukuran material 3 cm x 3 cm x 0,5 cm merupakan material komposit termoelektrik yang terbaik. Dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 0,0932 mS.cm⁻¹ daya hantar panas yang rendah 10,2920 J/s dan tegangan listrik (efek *Seebeck*) yang tinggi 25,2 x 10³ μV/K. Hasil karakterisasi menggunakan XRD terhadap komposit karbon aktif – CuO menunjukkan struktur kristalin. Kemudian hasil karakterisasi XRF menunjukkan tidak ada zat baru yang terbentuk baik sebelum ataupun setelah aktivasi karbon dan komposit karbon aktif – CuO. Dan hasil karakterisasi menggunakan UV-DRS menunjukkan energi gap pada material komposit yaitu 1,36 eV.

Kata kunci: Pelelah Kelapa Sawit, Karbon Aktif, Tembaga (II) Oksida CuO, Komposit Karbon Aktif – CuO , Material Termoelektrik

**Utilization of Palm Oil Midrib Activated Carbon (*Elaeis
Guineensis Jacq*) as a Thermoelectric Material
System C – CuO**

M.Sadiq Farras

ABSTRACT

Utilization of waste from oil palm fronds as a composite of activated carbon – CuO as a thermoelectric material has been successfully made. At 75 minutes the temperature of 370 oC is a good time and temperature for making carbon and with a long activation time of 11 hours for activated carbon. Mixing activated carbon with CuO using reflux is a process for making composite materials. Composite material with a ratio of 3 grams of activated carbon: 7 grams of CuO with a material size of 3 cm x 3 cm x 0.5 cm is the best thermoelectric composite material. With an electrical conductivity value of 0.0932 mS.cm⁻¹, a low thermal conductivity of 10.2920 J/s and a high electrical voltage (Seebeck effect) of 25.2 x 10³ V/K. The results of characterization using XRD of activated carbon – CuO composites showed a crystalline structure. Then the results of XRF characterization showed that no new substances were formed either before or after the activation of carbon and activated carbon composites – CuO. And the results of the characterization using UV-DRS showed the energy gap in the composite material was 1.36 eV.

Keywords: Oil Palm midrib, Activated Carbon, Copper (II) Oxide CuO, Composite Activated Carbon – CuO , Thermoelectric Material

KATA PENGANTAR

Assalaamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan seminar hasil penelitian yang berjudul **“Pemanfaatan Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) sebagai Material Termoelektrik Sistem C–CuO”**.

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

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat menuntut ilmu sehingga penulis dapat menambah wawasan dan pengetahuan di Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D selaku pembimbing penelitian.
3. Bapak Miftahul Khair, S.Si, M.Sc, Ph.D selaku penasehat akademik.
4. Bapak Hary Sanjaya, S.Si, M.Si sebagai pembahas.
5. Ibuk Dr. Fajriah Azra, S.Pd, M.Si sebagai pembahas.
6. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Kimia dan Ketua Prodi Kimia Universitas Negeri Padang.
7. Orang tua penulis yang telah meridhoi dan mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan seminar hasil penelitian.

8. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

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

Wassalaamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Padang, Agustus 2022

M.Sadiq Farras

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Material Termoelektrik	6
1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik	6
2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektrik	7
B. Karbon Aktif	9
C. Pelepah Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis Jacq</i>).....	12
D. Tembaga (II) Oksida (CuO)	13
E. Karakterisasi Komposit Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis Jacq</i>) dengan Tembaga (II) Oksida (CuO).....	15
1. Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	15
2. Analisa <i>X-Ray Fluorescence Spectrometer</i> (XRF).....	16
3. Analisa <i>Diffuse Reflectance-UV</i> (DR-UV)	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
A. Waktu dan Tempat	20
B. Objek Penelitian.....	20
C. Variabel Penelitian	20
D. Alat dan Bahan.....	21
1. Alat	21
2. Bahan	21

E. Prosedur Penelitian.....	22
1. Preparasi Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis Jacq</i>)	22
2. Karbonisasi dan Aktivasi Pelepah Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis Jacq</i>)	22
3. Pengujian Karakteristik Karbon Aktif	23
4. Preparasi Komposit Karbon Aktif-CuO	25
5. Pencetakan Material	25
6. Pengujian Komposit Karbon Aktif-CuO	25
7. Karakterisasi Komposit Karbon Aktif-CuO	27
F. Desain Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
A. Karakterisasi Karbon dan Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit	29
B. Pengujian Konduktivitas Listrik Perbandingan Massa	32
C. Pengujian Daya Hantar Panas Perbandingan Massa.....	34
D. Pengujian Tegangan Listrik yang Dihasilkan (<i>Efek Seeback</i>) Perbandingan Massa.....	35
E. Pengujian Konduktivitas Listrik Variasi Ketebalan.....	36
F. Pengujian Daya Hantar Panas Variasi Ketebalan	36
G. Pengujian Tegangan Listrik yang Dihasilkan (<i>Efek Seeback</i>) Variasi Ketebalan.....	37
H. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	38
I. Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence Spectrometer</i> (XRF)	39
J. Karakterisasi <i>Diffuse Reflectance-UV</i> (DR-UV)	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
A. Kesimpulan	42
B. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan mutu arang aktif menurut SNI No. 06-3720-1995 (LIPI, 2000) ..	11
2. Kandungan kimia pelepah kelapa sawit: (Ginting & Elizabeth, 2013).....	13
3. Sifat CuO.....	14
4. Hasil Karakterisasi XRF	39
5. Kadar air karbonisasi pada temperatur 370°C.....	52
6. Kadar abu karbonisasi pada temperatur 370°C	53
7. Kadar abu karbonisasi pada temperatur 370°C	54
8. Kadar karbon terikat dan daya serap iod karbonisasi temperatur 370°C	56
9. Kadar air karbon aktif aktivator ZnCl ₂	59
10. Kadar abu karbon aktif aktivator ZnCl ₂	60
11. Kadar uap karbon aktif aktivator ZnCl ₂	61
12. Kadar karbon terikat dan daya serap iod karbon aktif aktivator ZnCl ₂	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Percobaan Seebeck (Velmre, 2010)	6
2. Generator termoelektrik (Zheng, 2008)	8
4. Pelepah Kelapa Sawit.....	13
5. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO).....	14
6. Grafik Hasil Pengujian Karbon Variasi Suhu Karbonisasi	29
7. Grafik Pengujian Karbon Aktif Variasi Waktu Aktivasi	30
9. Grafik Konduktivitas Listrik Perbandingan Komposit	33
10. Grafik Daya Hantar Panas Perbandingan Komposit.....	34
11. Grafik Tegangan Listrik Perbandingan Komposit	35
12. Grafik Konduktivitas Listrik Perbandingan Ketebalan.....	36
13. Grafik Daya Hantar Panas Perbandingan Ketebalan	37
14. Grafik Tegangan Listrik Perbandingan Ketebalan.....	38
15. Spectrum XRD Karbon, Karbon Aktif dan Komposit KA-CuO	39
16. Grafik Nilai Band Gap Komposit Karbon Aktif - CuO Terbaik.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian	48
2. Preparasi, karbonisasi dan aktivasi pelepah kelapa sawit menjadi karbon aktif	48
3. Pengujian karakteristik karbon aktif	48
4. Preparasi komposit karbon aktif – CuO dan pencetakan material	49
5. Pengujian konduktivitas listrik ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$).....	50
6. Pengujian daya hantar panas (J/s)	50
7. Pengujian tegangan listrik yang dihasilkan (efek Seebeck).....	50
8. Analisa X-Ray Diffraction (XRD)	51
9. Analisa X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF).....	51
10. Data variasi karbonisasi	52
11. Data karbon aktif optimum setelah aktivasi menggunakan ZnCl_2	59
12. Tabel Nilai Konduktivitas Listrik	63
13. Tabel Nilai Tegangan Listrik Yang Dihasilkan (Efek Seebeck).....	63
14. Tabel Nilai Daya Hantar Panas	64
15. Tabel Nilai Konduktivitas Listrik	64
16. Tabel Nilai Tegangan Listrik Yang Dihasilkan (Efek Seebeck).....	65
17. Tabel Nilai Daya Hantar Panas	65
18. Data Hasil Karakterisasi XRD	66
19. Data Hasil Karakterisasi XRF.....	72
20. Data Hasil Karakterisasi UV-DRS.....	75
21. Dokumentasi Penelitian	76

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Aktivitas dan kehidupan manusia sekarang ini tentunya tidak dapat terpisahkan dengan energi listrik, listrik sudah menjadi penyokong dan kebutuhan bagi kehidupan. Sehingga tak dipungkiri lagi peningkatan penggunaan listrik nasional dari tahun ke tahunnya. Berdasarkan data pada tahun 2021 penggunaan listrik mencapai 1.109 kWh/kapita naik dibandingkan tahun 2016 yang sebesar 956 kWh/kapita. Hal ini membuktikan keterikatan manusia akan energi listrik. Hampir 95% wilayah di wilayah Indonesia sudah dialiri oleh listrik hal itu sejalan dengan peningkatan penggunaan listrik nasional saat ini. (Lidwina, 2020).

Di Indonesia terdapat beragam energi yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik. Yang salah satunya dengan memanfaatkan energi panas bumi, penggunaan energi panas ini dikarenakan wilayah Indonesia terletak pada garis khatulistiwa yang memiliki sumber energi panas dan kekayaan sumber daya alam (SDA) (Khalid *et al.*, 2015).

Energi panas tersebut dapat dimanfaatkan sehingga menghasilkan energi listrik dengan cara menerapkan efek seeback. Teknologi yang digunakan yaitu termoelektrik, merupakan interaksi transportasi antara energi panas dan listrik efeknya dapat dilihat berupa interaksi timbal balik yang berkaitan satu sama lain. (Zhao *et al.*, 2021). Penerapan bahan termoelektrik ini memiliki banyak potensi

karena mengandung energi yang melimpah dan menjadi perhatian saat ini. Bahannya yang ekonomis dan ramah lingkungan dengan kepadatannya yang rendah, dapat menjadikan bahan termoelektrik begitu menjanjikan sebagai sumber pembangkit listrik pada masa sekarang (Huang et al., 2021). Termoelektrik tidak menghasilkan produk sampingan sehingga terhindar dari pencemaran lingkungan, berbeda dengan pembangkit listrik berskala besar yang masih digunakan saat ini (Kim et al., 2021).

Pada penelitian kali ini material termoelektriknya bersumber dari karbon aktif. Karbon aktif digunakan karena memiliki daya hantar panas yang rendah dan bersumber dari bahan alam yang mudah didapatkan. Juga memiliki banyak keunggulan diantaranya tidak beracun, luas permukaan yang tinggi, dan ekonomis karena dapat memanfaatkan limbah tumbuhan sehingga banyak kegunaan dan dimanfaatkan hal yang lain (Kiani et al., 2020). Tetapi dengan karbon aktif saja tidak efektif sebagai bahan termoelektrik dikarenakan memiliki konduktivitas yang kecil, oleh karena itu karbon aktif harus dikompositkan dengan material yang memiliki konduktivitas listrik besar sehingga menghasilkan konduktivitas listrik yang besar tetapi daya hantar panasnya tetap kecil, material yang digunakan adalah tembaga (II) oksida (CuO) salah satu contoh material dengan konduktivitas besar, selain itu CuO juga cenderung berikatan dengan karbon aktif (Alorabi et al., 2020).

Karbon aktif dapat bersumber dari berbagai bahan baku, diantaranya berupa penggunaan produk samping pertanian seperti sekam padi, almond, kemiri serta tempurung kelapa (Zhang et al., 2017). Penggunaan hasil samping atau limbah pertanian juga sudah terbukti dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan, ekonomis serta ramah lingkungan (Tobi & Dennis, 2021). Serta keuntungan lainnya

menggunakan limbah pertanian ini berupa ketersediaan bahan yang selalu ada, tanpa biaya, terbarukan dan tanpa memerlukan perawatan (Ogbodo *et al.*, 2021).

Salah satu limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan karbon aktif adalah pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*). Pelepah kelapa sawit merupakan limbah dari tanaman kelapa sawit yang tidak mempunyai nilai ekonomis bahkan dibiarkan menjadi sampah saja setelah ditebang. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang tepat untuk mengelola pelepah kelapa sawit agar lebih berguna dilingkungan dan dapat memiliki nilai ekonomis nantinya. Yaitu mengolah pelepah kelapa sawit menjadi karbon aktif dikarenakan mengandung komposisi utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Kumneadklang *et al.*, 2019). Kandungan tersebut dikelompokkan disebut dengan lignoselulosa. Dengan adanya kandungan tersebut dapat menjadikan pelepah kelapa sawit sebagai karbon melalui proses pembakaran (Saha, 2004). Oleh karena itu peneliti tertarik menggunakan pelepah kelapa sawit sebagai sumber karbon dan dikompositkan dengan tembaga (II) oksida (CuO) untuk material termoelektrik.

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

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah berikut:

1. Penggunaan listrik yang semakin meningkat sehingga membutuhkan energi terbarukan sebagai sumber listrik
2. Semikonduktor CuO masih banyak digunakan pada material termoelektrik dengan daya hantar listrik dan daya hantar panas yang tinggi, sehingga diperlukan material terberukan supaya memiliki daya hantar panas rendah
3. Kurangnya pemanfaatan limbah pertanian sehingga dapat berdampak buruk bagi lingkungan, seperti limbah pelepah kelapa sawit
4. Komposit Karbon aktif dengan CuO yang penerapannya belum maksimal pada aplikasi termoelektrik

C. Batasan Masalah

Dari identifikasi masalah diatas, maka dibatasi masalah sebagai berikut:

1. Pemanfaatan limbah pertanian pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) untuk karbon aktif sebagai bahan termoelektrik
2. Karbon aktif dari pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) dikompositkan dengan tembaga (II) oksida (CuO)
3. Komposit karbon aktif pelepah kelapa sawit dengan CuO dilakukan pengujian berupa efek *Seebeck*, daya hantar listrik dan daya hantar panas
4. Karakterisasi komposit karbon aktif pelepah kelapa sawit dengan tembaga (II) oksida (CuO) dengan XRD, XRF dan DR-UV

D. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara melakukan preparasi karbon aktif dari pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*)?
2. Bagaimana mengkompositkan karbon aktif dari pelepah kelapa sawit dengan tembaga (II) oksida (CuO) untuk material termoelektrik?
3. Bagaimana hasil dari karakterisasi dan pengujian komposit karbon aktif pelepah kelapa sawit dengan tembaga (II) oksida (CuO)?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Preparasi karbon aktif dari pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) sebagai bahan termoelektrik.
2. Membuat komposit karbon aktif – CuO sebagai material termoelektrik.
3. Melakukan pengujian dan karakterisasi pada komposit karbon aktif – CuO.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian kali ini sebagai berikut:

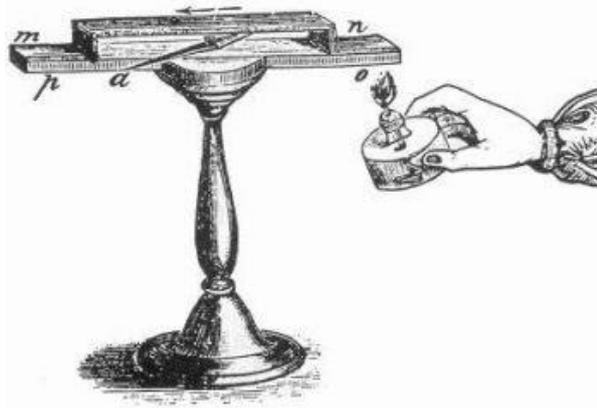
1. Memberikan informasi mengenai energi alternatif listrik yang sebagian materialnya dari limbah tumbuhan
2. Memberikan informasi tentang komposit karbon aktif pelepah kelapa sawit dengan tembaga (II) oksida (CuO) sebagai material termoelektrik.
3. Menambah wawasan mengenai alternatif energi listrik material termoelektrik.
4. Bisa dijadikan sebagai sumber referensi dan ide untuk penelitian lanjutan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Material Termoelektrik

1. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Material Termoelektrik

Termoelektrik adalah sebuah perangkat yang bisa menghasilkan listrik dari energi panas. Dikenal juga dengan sebutan “efek *Seebeck*” yang ditemukan tahun 1821. Hal tersebut terjadi dikarenakan perbedaan suhu diantara kedua ujung pada bahan semikonduktor yang mana ada ujung yang bagiannya panas dan di sisi lain dingin hingga menghasilkan listrik disebut juga tegangan *Seebeck* (Riffat & Ma, 2003). *Seebeck* menjabarkan hasil yang diujinya, tahun 1823. Yang mana terdapat dua konduktor beda di tempatkan di antara jarum kompas, kemudian salah satu konduktor dipanaskan dan jarum kompas bergerak (Rowe, 1995).



Gambar 1. Percobaan *Seebeck* (Velmre, 2010)

Untuk menemukan generator termoelektrik yang tepat, banyak peneliti yang beranggapan bahwa yang menentukan generator itu efisien disebabkan oleh kelengkapan dan susunan generator termoelektriknya. Akan tetapi di

tahun 1909 seorang ilmuwan Edmund Altenkirch menyatakan adanya hubungan antara sifat dan fisik termoelektrik dengan efisiensi. Di tahun 1913 W.W. Coblenz melakukan uji termoelektrik menggunakan campuran nikel dan tembaga, sehingga mampu menghasilkan listrik 0,6 mW dengan 0,008% efisiensi konverinya. Dan kemudian seorang ilmuwan yang bernama A.F. Loffe menggunakan bahan semikonduktor dari golongan (II – V, V – VI, IV – VI). Hal tersebut menghasilkan peningkatan efisiensi menjadi 4% kemudian hasil penelitian tersebut dibukukan di tahun 1956 (Polozine *et al.*, 2014).

2. Prinsip dan Fenomena Material Termoelektrik

Material termoelektrik mempunyai dua material susunan yang berbeda lalu digabungkan keduanya tersebut. Termoelektrik mempunyai 3 efek antara lain Efek *Seebeck*, Efek *Thomson*, Efek *Peltier* (Riffat & Ma, 2003). Yang pertama Efek *Seebeck* suatu peristiwa yang terjadi antara dua material berbeda dan memiliki temperature yang berbeda juga menghasilkan tegangan listrik. Dan berikut persamaan untuk mengetahui arus listriknya (Brahma *et al.*, 2005).

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

Keterangan:

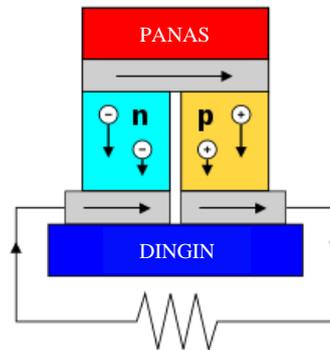
S = efek *Seebeck*

T = temperature

V = tegangan termoelektrik

Beberapa tahun kemudian ilmuawan bernama *Peltier* menemukan efek yang lebih efisien dan saling melengkapi, yang mana pada saat arus lewat terjadi perubahan suhu pada persimpangan konduktor. Efek ini kebalikan dari efek sebelumnya (*Seebeck*) yang mana terjadi suhu yang beda pada saat ada tegangan listrik di suatu material (Rowe, 1995). Selanjutnya efek *Thomson*

yang mana keadaan arus termal dan medan listrik yang berbeda dalam suatu konduktor homogen. Efek tersebut diterapkan dimana Efek *Peltier* di sistem pendingin dan Efek *Seebeck* terdapat pada generator, hal tersebut terdapat pada modul termoelektrik.



Gambar 2. Generator termoelektrik (Zheng, 2008)

Dapat dilihat dan dipahami dari gambar tersebut di mana terjadi perubahan energi panas ke energi listrik pada generator secara tidak langsung. Untuk menghasilkan listrik, sumber energi panas dan dingin dihubungkan satu sama lain pada rangkaian termoelektrik. Mengakibatkan terjadi arus listrik pada rangkaian bersumber dari bahan yang digunakan (Riffat & Ma, 2003).

Material semikonduktor dan logam memiliki *hole* dan elektron yang mempunyai fungsi untuk pembawa muatan. Elektron banyak terdapat pada semikonduktor tipe-n yang mana ketika elektron dipanaskan elektron tersebut akan menuju ke temperatur yang paling rendah. Pada semikonduktor tipe-p dimana elektron diikat dan ditarik oleh energi panas dari temperatur yang rendah dan *hole* berpindah dari temperatur tinggi ke paling rendah. Sehingga

elektron *hole* terkumpul di temperatur terendah, dan diperoleh potensial listrik yang beda dan menghasilkan arus yang mampu mengalir.

B. Karbon Aktif

Salah satu material yang efektif digunakan dalam termoelektrik adalah karbon aktif karena memiliki luas permukaan antar partikel yang besar dan porositas yang tinggi. Karbon aktif bersifat amorf karena partikelnya yang tidak teratur dan pada utamanya mengandung banyak karbon. Karbon aktif mempunyai struktur grafit karena memiliki atom karbon yang terikat secara kovalen pada salah satu sisi heksagonal. Terdapat gaya van der Waals pada karbon aktif karena adanya ikatan antara lapisan karbon sehingga porositasnya tinggi (Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, 2006).

Karbon aktif telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti katalis, penghilang bau, penyimpanan dan pemurnian air. Karbon aktif juga memiliki sifat mesoporous, yang mana mengakibatkan masuknya cairan atau gas ke dalam pori (Mohamad Nor *et al.*, 2013). Untuk menentukan karbon aktif yang bagus bisa dilihat dari bentuk atau cirinya seperti struktur dan distribusi pori. Kualitasnya dapat juga ditentukan dari bagaimana pembuatan dan sifatnya. Sintesis atau penggabungan karbon aktif dapat dibuat dengan pemanasan non konvensional dan konvensional (Sharif *et al.*, 2018).

Berikut adalah tahapan dari preparasi karbon aktif:

1. Dehidrasi

Tujuan dari dehidrasi adalah untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan air pada bahan baku karbon. Dengan cara menjemur bahan baku

tersebut di panas sinar matahari atau pemanasan dengan oven sehingga memperoleh berat yang stabil atau konstan (Tumimomor & Palilingan, 2018).

2. Karbonisasi

Tujuan dari karbonisasi yaitu untuk menghilangkan unsur bukan karbon sehingga menghasilkan kandungan karbon yang banyak. Pada karbonisasi memakai suhu yang tinggi untuk menghasilkan kandungan karbon yang tinggi, kadar abu dan mengurangi bahan yang gampang menguap. Terjadi peningkatan laju pelepasan gas dan cairan serta penurunan hasil karbon pada suhu tinggi. Sehingga suhu sangat mempengaruhi kualitas dari karbon (*Nor et al.*, 2013). Akan tetapi suhu yang begitu tinggi juga tidak baik pada proses karbonisasi karena dapat berakibat adanya kandungan abu pada karbon, maka dari itu harus dilakukan pembatasan pada suhunya. Apabila terdapat abu dapat mengakibatkan pori-pori pada karbon tersumbat sehingga luas permukannya mengecil.

3. Aktivasi

Tujuan dari aktivasi yaitu untuk meningkatkan volume pori, luas permukaan dan porositas karbon aktif. Terdapat tiga cara aktivasi yaitu dengan aktivasi fisika, kimia, dan fisikokimia (gabungan). Pada aktivasi dinding antar pori menjadi besar karena dinding tersebut terbakar sehingga struktur mikroporinya mengembang. Metode *steam* lebih di rekomendasikan pada aktivasi fisik dibandingkan CO₂. Ukuran molekul air yang lebih kecil dapat memperlancar terjadinya difusi pada struktur pori. Sedangkan pada aktivasi kimia banyak memanfaatkan agen pengaktivasi, dengan KOH, NaOH, HPO₄

dan $ZnCl_2$. Proses degradasi dan dehidrasi pada aktivasi kimia dapat mengakibatkan porositas mengembang (Mohamad Nor *et al.*, 2013).

Berikut faktor yang mempengaruhi proses aktivasi, antara lain:

1. Waktu karbonisasi

Waktu karbonisasi sangat mempengaruhi, karena apabila waktunya lama mengakibatkan reaksi pirolisis yang sempurna dan kadar karbon yang dihasilkan menurun, tetapi kualitas pada karbonnya mengalami peningkatan.

2. Suhu

Suhu yang tinggi dapat meningkatkan luas permukaan dan pori-pori karbon. Hal tersebut terjadi karena senyawa volatil akan lepas pada saat suhu tinggi mengakibatkan porositas pada karbon aktif meningkat.

3. Rasio aktivasi

Luas permukaan akan meningkat apabila jumlah pengaktifannya juga bertambah. Hal tersebut juga dapat mengakibatkan volume pada pori karbon meningkat (Kristianto, 2017).

Dalam menentukan kualitas dari karbon aktif dilakukan beberapa uji di antaranya uji kadar air, uji kadar abu, kadar uap, kadar karbon terikat dan uji daya serap iodin. Beberapa uji tersebut memiliki batas persyaratan yang telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam tabel berikut (LIPI, 2000):

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

Jenis Uji	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar Air	Mak. 4,5%	Mak. 15%

Kadar Abu	Mak. 2,5%	Mak. 10%
Kadar Uap	Mak. 15%	Mak. 25%
Kadar Karbon Terikat	Min. 80%	Min. 65%

C. Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq*)

Pada umumnya kelapa sawit memiliki beberapa bagian yaitu dalam bentuk batang kelapa sawit, tandan buah kosong, pelepah kelapa sawit, buah dan daun dari bagian tersebut bersumber senyawa kimia yaitu lignoselulosa dalam jumlah besar dan memiliki banyak manfaat. Salah satu diantaranya adalah pelepah kelapa sawit yang merupakan limbah dari tanaman ini yang didapatkan pada saat panennya buah kelapa sawit. Pelepah ini ditebang setelah 20 hari masa panen, pada umumnya pelepah kelapa sawit dibiarkan sampai membusuk dan dibakar saja setelah ditebang. Sehingga tindakan tersebut dapat berdampak buruk bagi lingkungan sekitar. Maka dari itu, diperlukan penanganan yang tepat untuk mengelola limbah pelepah sawit salah satunya memanfaatkannya sebagai karbon aktif material termoelektrik (Kumneadklang *et al.*, 2019).

Terdapat tiga bagian pada pelepah kelapa sawit antara lain daun (*leaflets*), pangkal batang (*petiole*) dan bagian tempat muncul daun (*rachis*). Pada satu batang kelapa sawit menghasilkan sekitar 18-24 pelepah dari umur 4 tahun disetiap tahunnya. Pelepah tersebut tumbuh selama 30 bulan. Dan memiliki panjang batang 7m - 8m, dengan pangkal pelepah 1.5 m dan daunnya sekitar 5.5m - 6.5 m (Bulan *et al.*, 2017).



Gambar 3. Pelepah Kelapa Sawit

Terdapat beragam unsur kimia pada pelepah kelapa sawit diantaranya selulosa, hemiselulosa dan lignin yang dikelompokkan dan disebut senyawa lignoselulosa. Senyawa ini banyak ditemukan dalam limbah pertanian seperti pelepah kelapa sawit. Kandungan tersebut membuat pelepah kelapa sawit dapat dijadikan arang hayati yang bagus melalui proses pembakaran (Saha, 2004).

Tabel 2. Kandungan kimia pelepah kelapa sawit: (Ginting & Elizabeth, 2013)

Parameter	Kadar %
Lignin	17,4
Hemiselulosa	35,9
Selulosa	33,7
Abu	3,3
Kalsium	2,568
Kalium	1,316
Nitrogen	2,38
Silika	2,6
Klorida	0,70
Sulfur	0,40
Magnesium	0,487
Posfor	0,157

D. Tembaga (II) Oksida (CuO)

Terdapat berbagai jenis oksida logam transisi seperti CuO, ZnO, TiO₂, MnO₂, Fe₃O₄ dan masih banyak lagi. Oksida logam tersebut memiliki potensi untuk katalis

dan semikonduktor. Diantara banyak macam oksida logam tersebut, dipakailah CuO sebagai komposit buat material termoelektrik. Dikarenakan CuO adalah semikonduktor tipe-p yang energi celah pita yaitu 1,2 eV.



Gambar 4. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO)

Logam transisi CuO memiliki banyak kegunaan diberbagai bidang. CuO banyak diaplikasikan pada alat elektronik dan optoelektronik sebagai katalis, sel elektro kimia, sensor gas, high-Tc super konduktor, perangkat penyimpanan magnetik dan emitter lapangan.

Pada tabel berikut berupa sifat-sifat dari logam transisi CuO:

Tabel 3. Sifat CuO

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

(Aparna *et al.*, 2012).

E. Karakterisasi Komposit Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dengan Tembaga (II) Oksida (CuO)

Pada penelitian kali ini menggunakan tiga instrument untuk karakterisasi, berikut:

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

Teknik yang digunakan pada analisa *X-ray diffraction* (XRD) adalah menentukan fasa kristalin pada bahan dan mengetahui berapa ukuran partikel dengan menentukan parameter struktur kisi. Prinsip difraksi sinar-X yaitu apabila benda padat berupa atom dipancarkan sinar-X, maka elektron akan menghamburkan sinar-X di dalam atom. Keikutsertaan gelombang destruktif dan konstruktif terjadi secara terus-menerus di sepanjang arah akan tetapi perbedaannya terletak pada pemancaran gelombang yang tersebar (pola difraksi) yang dipancarkan oleh atom di posisi yang berbeda. Antara pola difraksi dan struktur atom periodik memiliki hubungan yang erat pada material. Susunan atom atau perioditas dengan jarak berulang pendek akan mengakibatkan difraksi di sudut tinggi dan pada jarang berulang jauh akan mengakibatkan difraksi di sudut kecil. Intensitas puncak difraksi digunakan untuk menentukan posisi atom sedangkan pada posisi puncak difraksi dapat menentukan ukuran dan bentuk sel pada nomor atom dan di dalam sel (Ameh, 2019).

Difraksi pada sinar-X (XRD) dapat juga untuk menentukan struktur kristal, karakterisasi sampel pada lapisan tipis dan melakukan pengukuran tekstur seperti orientasi butiran dalam sampel polikristalin akan tetapi itu semua memerlukan teknik khusus (Bunaciu *et al.*, 2015). Berikut persamaan *Bragg* yang digunakan untuk mempelajari kristal pada difraksi sinar-X (Ameh, 2019):

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

Keterangan:

n = orde refleksi

λ = panjang gelombang sinar-X

θ = sudut balok difraksi

d = jarak antara dua bidang kisi

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

1. Cepat dan efisien (< 20 menit) dalam identifikasi mineral yang belum dapat diketahui
2. Intrumen XRD mudah ditemui dan banyak
3. Persiapan sampel yang tidak lama
4. Dapat menentukan mineral dengan baik
5. Interpretasi data yang mudah

2. Analisa *X-Ray Fluorescence Spectrometer* (XRF)

Salah satu teknik analisis yang bagus dalam menentukan komposisi kimia dari beragam jenis material seperti bahan bangunan, kaca, keramik, logam, arkeologi untuk penelitian geokimia dan ilmu forensik (Length, 2009).

Analisa XRF berdasarkan pencacahan karakteristik sinar-x yang dihasilkan oleh efek fotolistrik. Efek fotolistrik tersebut disebabkan oleh elektron di dalam sampel (atom target) dan menabrak berkas yang memiliki energi tinggi. Apabila energi ikat elektron lebih rendah dari pada energi sinar dalam orbital K, L atau M sampel mengakibatkan elektron yang terdapat pada sampel keluar dari orbitalnya, dan terjadi kekosongan, kekosongan tersebut akan diisi oleh elektron dari orbital yang berada lebih luar diiringi dengan pelepasan energi berupa sinar-x.

Spektrometri XRF menggunakan sinar-x yang mana sinar tersebut dipancarkan oleh bahan yang kemudian ditangkap oleh detektor untuk dianalisis kandungan unsur yang berada pada material. Material yang dianalisis dapat berbentuk serbuk dan padat massif. Analisa menggunakan XRF dapat dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif, untuk analisa secara kualitatif dengan menganalisa jenis unsur yang terkandung pada material sedangkan analisa secara kuantitatif bertujuan untuk menentukan konsentrasi unsur pada material (W. P. Sari *et al.*, 2014).

Analisis XRF mempunyai beberapa keunggulan, antara lain: (W. P. Sari *et al.*, 2014)

1. Hasil yang didapatkan lebih akurat
2. Persiapan sampel yang sederhana
3. Cukup ekonomis
4. Mesinnya yang stabil
5. Cepat pada saat analisis

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

Pada *Diffuse Reflectance-UV* (DR-UV) dilakukan perhitungan adsorbansi dan %R untuk mengetahui energi *band gap* pada material. Pengukuran dilakukan sesuai dengan visibel dan sinar UV oleh material yang diuji dengan cara merefleksikannya. Instrument DR-UV ini memiliki prinsip yang berdasarkan lapisan material diradiasikan oleh foton maka material akan menyerap atau menghamburkan foton (Saba, 2019).

Instrument ini (DR-UV) juga dapat menentukan besar energi gap yang didapatkan pada material semikonduktor yang disintesis. Energi gap merupakan energi yang mempunyai celah di antara pita konduksi yang tak berelektron dengan pita valensi yang banyak akan elektron. Energi gap sangat lah penting pada material semikonduktor karena dapat mempengaruhi kinerja material semikonduktor untuk mengalirkan *hole* dan elektron. Jika energi gap terlalu kecil akan berakibat pada loncatan ke pita konduksi dari pita valensi mengakibatkan elektron kurang bebas, namun jika energi gap terlalu besar juga dapat menghambat loncatan elektron sehingga aliran elektron terhambat (Wiranda, 2015).

Pada dasarnya energi dari celah pita pada material semikonduktor mempunyai nilai hv pada saat $(F(R')hv)^{1/2}$, di dapatkan dari persamaan regresi linear kurva. Energi pada celah pita di dapatkan dengan perhitungan perubahan besaran %R ke dalam faktor Kubelka-Munk ($F(R)$) sama halnya dengan rumus berikut (Sanjaya, 2017):

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

Keterangan:

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

S = koefisien *scattering*

K = koefisien absorbansi

R = nilai reflektansi

Untuk mencari energi celah pita dapat diperoleh melalui grafik hubungan antara $(F(R')hv)^{1/2}$ dan $hv(eV)$, untuk mendapatkan nilai $hv(eV)$ dapat di cari dengan rumus berikut (Sanjaya, 2017):

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

Keterangan:

E_g = energi celah pita (eV)

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

λ = panjang gelombang (nm)

c = kecepatan cahaya ketika di udara

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa:

1. Karbon aktif dengan nilai tinggi pada waktu 75 menit dengan suhu karbonisasi 370 °C dan aktivasi dengan ZnCl₂ 25% selama 11 jam sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995)
2. Material komposit termoelektrik dengan perbandingan karbon aktif 3 gram : CuO 7 gram (KC 3) dengan ukuran 3 cm x 3 cm x 0,5 cm merupakan material komposit terbaik memiliki nilai konduktivitas listrik tinggi sebesar 0,0961 mS.cm⁻¹, daya hantar panas rendah 10,2920 J/s dan tegangan listrik (*Efek Seebeck*) tinggi $25,2 \times 10^3 \mu\text{V/K}$
3. Hasil karakterisasi dengan XRD pada material komposit menunjukkan struktur kristal. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa tidak ada zat baru yang terbentuk sebelum ataupun sesudah aktivasi dan komposit. Kemudian hasil karakterisasi dengan UV-DRS menunjukkan *band gap* dari material komposit yaitu 1.36 eV.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan disarankan:

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

DAFTAR PUSTAKA

- Alorabi, A. Q. Shamshi Hassan, M., dan Azizi M. Pengolahan, C. L., Alami, A., Penelitian, P., & Wrtc, A. (2020). *Fe 3 HAI 4 - Komposit karbon teraktivasi - CuO sebagai adsorben yang efisien untuk menghilangkan pewarna biru bromofenol dari larutan berair*. 8080–8091. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.09.039>
- Ameh, E. S. (2019). A review of basic crystallography and x-ray diffraction applications. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(7–8), 3289–3302. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04508-1>
- An, Y., Huang, C., & Wang, X. (2021). Effects of thermal conductivity and wettability of porous materials on the boiling heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 170(June), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107110>
- Aparna, Y., Rao, K. . E., & Subbarao, P. S. (2012). Synthesis and Characterization of CuO Nano Particles by Novel Sol Gel Method. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 32(1), 12–16. <https://doi.org/10.7763/IPCBE>
- Arazi, I., & Putra, A. (2020). Preparation and Characterization Composites of Activated Carbon from Cassava Peel (Manihot Utilisima) - Copper (II) Oxide (CuO) as a Thermoelectric Material. *International Journal of Research and Review (IJRR)*, 7(9), 42–51.
- 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>
- Bulan, R., Mandang, T., Hermawan, W., & Desrial. (2017). Perancangan mesin pencacah dan pengempa pelepah kelapa sawit. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 5(2), 422–428.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Ega Mawarni, Y. W. (n.d.). *Pengaruh Bentuk dan Ketebalan Plat Termokopel Nikel-Alumunium Terhadap Tegangan Termoelektrik*. 3, 1–5.
- Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M., & Yokoyama, T. (2008). Nanoparticle Technology Handbook. In *Nanoparticle Technology Handbook*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53122-3.X5001-6>
- Huang, H., Wen, P., Bi, T., Duan, B., Zhou, X., Li, Y., & Zhai, P. (2021). Influence of graphene oxide nanosheets and multi-walled carbon nanotubes on the thermoelectric and mechanical properties of Mg₂(Si_{0.3}Sn_{0.7})_{0.99}Sb_{0.01}. *Scripta Materialia*, 203, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2021.114103>