

Skripsi

**PENGARUH SUHU DAN MASSA KARBON TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT NANOPARTIKEL MnO_2 HASIL REAKSI
 $KMnO_4$ DAN KARBON TEMPURUNG KEMIRI (*Aleurites moluccana*)
TERAKTIVASI H_3PO_4**

JUMITA RANDAN

H031 18 1301



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGARUH SUHU DAN MASSA KARBON TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT NANOPARTIKEL MnO_2 HASIL REAKSI
 $KMnO_4$ DAN KARBON TEMPURUNG KEMIRI (*Aleurites moluccana*)
TERAKTIVASI H_3PO_4**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu
syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh:

JUMITA RANDAN

H031 18 1301



**MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH SUHU DAN MASSA KARBON TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT NANOPARTIKEL MnO_2 HASIL REAKSI
 $KMnO_4$ DAN KARBON TEMPURUNG KEMIRI (*Aleurites moluccana*)
TERAKTIVASI H_3PO_4

Disusun dan diajukan oleh

JUMITA RANDAN

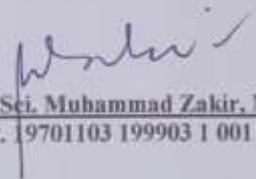
H031 18 1301

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Pada 26 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

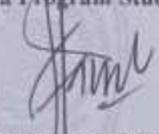
Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si.
NIP. 19701103 199903 1 001


Dr. St. Fauziah, M.Si.
NIP. 19720202 199903 2 002

Ketua Program Studi


Dr. St. Fauziah, M.Si.
NIP. 19720202 199903 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jumita Randan
NIM : H031 18 1301
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul "Pengaruh Suhu dan Massa Karbon Terhadap Karakteristik Komposit Nanopartikel MnO_2 Hasil Reaksi $KMnO_4$ dan Karbon Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) Teraktivasi H_3PO_4 " adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 26 Februari 2024

Yang Menyatakan,



Jumita Randan

*Bersukacitalah senantiasa.
Tetaplah berdoa.
Mengucap syukurlah dalam segala hal,
sebab itulah yang dikehendaki Allah di dalam Kristus Yesus bagi kamu.
(1 Tesalonika 5:16-18)*

*Sebab TUHAN, Dia sendiri akan berjalan di depanmu, Dia sendiri akan menyertai engkau, Dia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau; janganlah takut dan janganlah patah hati.
(Ulangan 31:8)*

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul “**Pengaruh Suhu dan Massa Karbon Terhadap Karakteristik Komposit Nanopartikel MnO₂ Hasil Reaksi KMnO₄ dan Karbon Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) Teraktivasi H₃PO₄**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Pelaksanaan dan penyusunan skripsi tidak terlepas dari dukungan doa, motivasi, bantuan, dan bimbingan yang berharga dari berbagai pihak. Terkhusus penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak **Randan** dan Mama **Sarlotha** selaku orang tua yang selalu memberikan cinta kasihnya. Doa dan harapan, semangat, maupun dukungan materi yang dilimpahkan mendorong penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan perkuliahan. Kepercayaan besar yang diberikan tidak pernah berubah. Terima kasih sudah sangat bersabar dan tidak pernah menuntut. Bahagia selalu, Tuhan Yesus memberkati dan memberi kesehatan.

Ungkapan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada Bapak **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si** selaku pembimbing utama dan Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku pembimbing pertama atas waktu dan tenaga, ilmu, bimbingan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis dalam melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu **Prof. Dr. Nunuk Hariani Soekamto, MS** dan Ibu **Dr. Seniwati Dali, M.Si** selaku tim penguji atas ilmu dan saran yang diberikan untuk penyempurnaan penelitian dan penyusunan skripsi. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan di Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Eng Amiruddin, S.Si, M.Si** selaku Dekan Fakultas MIPA beserta wakil-wakilnya, Ibu Ketua Departemen Kimia **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan Ibu Sekretaris **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si** serta seluruh **Dosen** yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis selama perkuliahan.
3. Ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si** selaku koordinator seminar proposal dan Ibu **Riska Mardiyanti, S.Si., M.Sc** selaku koordinator seminar hasil yang telah memberikan ilmu dan saran kepada penulis.
4. Seluruh **Staf** Departemen Kimia dan Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin serta seluruh **Analisis Laboratorium** Departemen Kimia yang telah mengarahkan dan membantu penulis selama kuliah, khususnya saat penelitian dan penyelesaian skripsi.
5. Teman-teman peneliti Kimia Fisika 2018 “Physical Chemistry” khususnya **Citra, Nurmaya, dan Defa** serta seluruh kakak peneliti Kimia Fisika khususnya **Kak Elfa** dan **Kak Safira** yang telah banyak membantu, mengarahkan dan menemani penulis selama penelitian dan menyelesaikan skripsi. Terima kasih juga kepada pihak yang telah membantu dalam penelitian dan pengambilan sampel.
6. Adik **Jamianto, Jielsi, Jofniarto** dan **seluruh keluarga** yang selalu menanti kelulusan dan kepulangan penulis. Terkhusus kepada **Mama Dede** yang selalu memberi dukungan doa maupun materi, **Jenica Randan** dan **Yunita** yang telah menjadi saudari, sahabat, maupun partner penulis dalam banyak hal. Terima kasih untuk semua dukungannya, tetap berproses dan bertumbuh bersama.
7. Sahabat dan Teman-teman

Dwianto Family (**Rika, Febri, Citra, Fade, Agung, dan Athala**) yang telah menjadi partner dan bagian dari cerita selama perkuliahan di kampus, memberi dukungan, dan memotivasi penulis. Sukses selalu.

Keluak'ka NTI (**Nita, Mega, Jane, Resi, Agnes, Rika, Uppi, Litus**), terima kasih untuk semua dukungan dan cerita yang sudah dilewati. Proses hidup kita masih panjang, selamat berjuang. Tuhan selalu bersama kita.

Teman-teman **Kimia 2018, PMKO Filadelfia MIPA_Farmasi Unhas, GMKI FMIPA Unhas** dan **KKN Tamalanrea 2** terima kasih untuk pengalaman yang telah dilalui bersama. Terima kasih juga kepada pihak yang tidak dapat disebutkan yang telah memberikan semangat dan motivasi secara langsung maupun tidak langsung serta menjadi penghibur bagi penulis.

8. Bapak/Ibu Pembimbing **PKL Lab. Forensik Polri Cabang Makassar** dan seluruh **Personil Bidang Labfor Polda Sulsel** terima kasih untuk pengalaman, ilmu, dan bimbingan yang telah diberikan selama masa magang.
9. Terima kasih untuk diri sendiri atas usaha dan semua proses yang telah dilewati khususnya dalam mengerjakan tugas akhir. Terima kasih sudah bertahan sampai titik ini. Tetap persiapkan diri untuk proses selanjutnya. Semangat, sehat selalu dan yakin Tuhan Yesus selalu menolong dan menyertai.

Penulis menyadari atas segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, skripsi ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu penulis sangat menghargai apabila ada kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan tulisan ini. Besar harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan setiap pihak yang membacanya.

Makassar, 30 Januari 2024

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu dan massa terhadap karakteristik komposit karbon dengan nanopartikel MnO_2 yang terbentuk dari reaksi KMnO_4 dan karbon tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) teraktivasi H_3PO_4 . Sintesis dilakukan melalui beberapa tahapan. Sampel yang sudah dipreparasi, selanjutnya dikarbonisasi pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$, diaktivasi dengan aktivator asam yaitu H_3PO_4 10%, dan dipirolisis pada suhu $850\text{ }^\circ\text{C}$. Aktivator mampu meningkatkan kualitas karbon dalam hal ini meningkatkan luas permukaan karbon, diameter dan jumlah pori karbon. Sintesis dilakukan menggunakan KMnO_4 dengan konsentrasi tetap yaitu $0,0024\text{ M}$ dan dianalisis menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis pada λ 200-700 nm untuk menentukan massa karbon dan suhu optimum. Kadar optimum yang diperoleh yaitu pada massa karbon $0,25\text{ g}$ dan suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$. Selama proses reduksi KMnO_4 menjadi nanopartikel MnO_2 terjadi perubahan warna larutan dari ungu menjadi kuning kecokelatan. Karakterisasi gugus fungsi dengan Fourier Transform-Infrared (FTIR) menunjukkan adanya serapan gugus MnO pada daerah $561,29\text{ cm}^{-1}$ dan metode titrasi Boehm menunjukkan adanya peningkatan nilai asam dimana jumlah asam yang diperoleh KTK, KATK, dan komposit nanopartikel MnO_2 berturut-turut yaitu $5,2162$; $12,924$; $13,4317\text{ meq/g}$. Adanya nanopartikel MnO_2 pada permukaan karbon dilihat dari pembentukan puncak baru pada daerah $37,19^\circ$ dan $65,13^\circ$ dari hasil X-Ray Diffraction (XRD) dan ukuran nanopartikel MnO_2 yang diperoleh yaitu $4,53\text{ nm}$.

Kata kunci: Aktivator H_3PO_4 , massa karbon, nanopartikel MnO_2 , suhu, tempurung kemiri.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of temperature and mass on the characteristics of carbon composites with MnO₂ nanoparticles formed from the reaction of KMnO₄ and H₃PO₄-activated candlenut shell carbon (*Aleurites moluccana*). The synthesis was carried out through several stages. Prepared samples were carbonized at 700 °C, activated with an acid activator, 10% H₃PO₄, and pyrolyzed at 850 °C. Activators are able to improve the quality of carbon in this case increasing the carbon surface area, diameter and number of carbon pores. The synthesis was carried out using KMnO₄ with a fixed concentration of 0,0024 M and analyzed using a UV-Vis spectrophotometer instrument at λ 200-700 nm to determine the optimum carbon mass and temperature. The optimum levels obtained were at a carbon mass of 0,25 g and a temperature of 100 °C. During the reduction process of KMnO₄ into MnO₂ nanoparticles, the color of the solution changes from purple to yellow-brown. Characterization of functional groups with Fourier Transform-Infrared (FTIR) showed the absorption of MnO groups in the 561,29 cm⁻¹ region and the Boehm titration method showed an increase in acid value where the amount of acid obtained by KTK, KATK, and MnO₂ nanoparticle composites was 5,2162; 12,924; 13,4317 meq/g. The presence of MnO₂ nanoparticles on the carbon surface can be seen from the formation of new peaks at 37,19° and 65,13° from the X-Ray Diffraction (XRD) results and the size of the nanoparticles was 4,53 nm.

Keywords: H₃PO₄ activator, carbon mass, MnO₂ nanoparticle, temperature candlenut shells.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	v
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Umum Nanopartikel.....	7
2.2 Karbon Aktif.....	8
2.3 Tempurung Kemiri (<i>Aleurites moluccana</i>) sebagai Karbon Aktif....	13
2.4 Komposit Nanopartikel MnO ₂	15
2.5 Karakterisasi Nanopartikel	17
2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis	17

2.5.2 Fourier Transform Infrared (FTIR).....	17
2.5.3 X-Ray Diffraction (XRD).....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Bahan Penelitian.....	20
3.2 Alat Penelitian	20
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.4 Prosedur Penelitian.....	21
3.4.1 Pembuatan Larutan	21
3.4.2 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri.....	22
3.4.3 Optimasi Komposit Karbon dengan Nanopartikel MnO ₂	23
3.4.3.1 Pengaruh Massa Karbon terhadap Pembentukan Nanopartikel MnO ₂	23
3.4.3.2 Pengaruh Suhu terhadap Pembentukan Nanopartikel MnO ₂	23
3.4.4 Sintesis Nanopartikel MnO ₂ pada Kondisi Optimum	23
3.4.5 Penentuan Kadar Asam dan Basa Total dengan Metode Titrasi Boehm	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Karbonisasi dan Pengaruh Aktivasi dengan H ₃ PO ₄	26
4.2 Optimasi Komposit Karbon dengan Nanopartikel MnO ₂	27
4.2.1 Pengaruh Massa Karbon	30
4.2.2 Pengaruh Suhu.....	32
4.3 Karakterisasi Permukaan Karbon Tempurung Kemiri (KTK), Karbon Aktif Tempurung Kemiri (KATK), dan AC/MnO ₂	34
4.3.1 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR	34
4.3.2 Karakterisasi dengan Titrasi Boehm	37

4.3.3 Karakterisasi dengan XRD.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Mekanisme pengaktifan karbon dengan larutan H_3PO_4	11
2. Tempurung kemiri (<i>Aleurites moluccana</i>).....	13
3. Hasil analisis SEM pada pembesaran 3000x dari tempurung kemiri, karbon tempurung kemiri dan karbon aktif tempurung kemiri.....	15
4. Spektrum XRD karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi MnO_2	19
5. Karbon tempurung kemiri (a) dan karbon aktif tempurung kemiri (b)	27
6. Perubahan warna sebelum (a) dan sesudah (b) proses sintesis komposit nanopartikel AC/ MnO_2	27
7. Spektrum serapan UV-Vis larutan $KMnO_4$ dan koloid MnO_2	28
8. Identifikasi koloid pada larutan $KMnO_4$ (a), AC/ MnO_2 (b), dan akuades (c) menggunakan sinar laser	29
9. Pembentukan komposit karbon dengan nanopartikel MnO_2	30
10. Kadar MnO_4^- (%) variasi massa karbon (g)	31
11. Kadar MnO_2 (%) variasi massa karbon (g)	32
12. Kadar MnO_4^- (%) variasi suhu ($^{\circ}C$)	33
13. Kadar MnO_2 (%) variasi suhu ($^{\circ}C$)	34
14. Spektrum FTIR dari karbon tempurung kemiri (KTK), karbon aktif tempurung kemiri (KATK) dan AC/ MnO_2	35
15. Perbandingan Hasil Titrasi Boehm dari KTK, KATK dan AC/ MnO_2 ..	37
16. Reaksi reduksi MnO_4^- menjadi MnO_2 dan gugus fungsi karbon teroksidasi menjadi asam karboksilat	38
17. Perbandingan pola difraksi XRD dari KATK dan AC/ MnO_2	39

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Klasifikasi karbon aktif berdasarkan ukuran pori	9
2. Persyaratan karbon aktif menurut standar nasional indonesia (SNI) No.06-3730-1995.....	12
3. Komposisi kimia tempurung kemiri	14
4. Perbandingan bilangan gelombang pita serapan KTK, KATK, AC/MnO	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Diagram alir penelitian..	47
2. Bagan kerja	48
3. Dokumentasi penelitian	52
4. Perhitungan pembuatan larutan pereaksi	55
5. Hasil karakterisasi FTIR KTK, KATK, dan AC/MnO ₂	57
6. Hasil karakterisasi UV-Vis	60
7. Perhitungan MnO ₄ ⁻ dalam Larutan dan Kadar MnO ₂ variasi masa karbon	72
8. Perhitungan MnO ₄ ⁻ dalam larutan dan kadar MnO ₂ variasi suhu	80
9. Perhitungan hasil titrasi boehm	84
10. Hasil karakterisasi XRD	96

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/ singkatan	Arti
Å	Angstrom
λ	Panjang gelombang
°C	<i>Celcius</i>
AC	<i>Activited Carbon</i>
cm ³ /g	Senti meter kubik per gram
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
F/g	Farad per gram
KTK	Karbon Tempurung Kemiri
KATK	Karbon Aktif Tempurung Kemiri
meq/g	Miliekuivalen per gram
mg/g	Miligram per gram
F/g	Farad per gram
M	Molar
nm	Nanometer
N	Normalitas
UV-Vis	<i>Ultra Violet-Visible</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan suatu pemahaman dan pengaturan mengenai perancangan dan pembuatan struktur atau material dengan ukuran nanometer, dimana pemahaman ini memungkinkan adanya potensi aplikasi-aplikasi terbaru (Fahmi dan Wibrianto, 2021; Ariyanta, 2014). Aplikasi nanoteknologi dapat dilihat pada preparasi material yang berukuran 1-100 nm yang biasa disebut sebagai nanopartikel (Riyanto dkk., 2020). Nanopartikel memberikan inovasi dan kemajuan bagi masyarakat serta bermanfaat di berbagai bidang, salah satunya dalam penyimpanan energi (*energy storage*) (Amiruddin dkk., 2013).

Komponen penyimpanan energi telah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat dunia termasuk Indonesia. Hal ini dilihat dari kebutuhan energi masyarakat yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas yang dilakukan (So, 2014). Kebutuhan energi yang semakin besar ini mendorong hadirnya berbagai perangkat penyimpanan seperti superkapasitor yang mempunyai waktu hidup yang lama, model dan prinsip sederhana, waktu dan pengisian pendek. Superkapasitor dapat dibuat dari nanopartikel yang relatif murah dan mudah didapat (Nursiti dkk., 2018).

Kajian sains mengenai nanopartikel saat ini telah banyak dilakukan, misalnya pada logam golongan VIIB khususnya Teknesium (Tc) dan Mangan (Mn) (Zakir dkk., 2005). Berdasarkan beberapa penelitian, pembentukan dan penguraian nanopartikel TcO_2 melibatkan *soluble species* (spesis terlarut) yaitu $TcO_2 \cdot xH_2O$. Hal ini dapat dibuktikan dengan metode spektroskopi UV-Vis (Zakir dkk., 2005;

Sekine dkk., 2004). Namun pada nanopartikel MnO_2 , keberadaan spesies terlarut dalam pembentukan nanopartikel belum dapat dibuktikan keberadaannya. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian lebih lanjut mengenai hal ini termasuk faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukannya mengingat Tc dan Mn berada pada golongan yang sama.

Beberapa penelitian telah menunjukkan MnO_2 merupakan salah satu elektroda yang menjanjikan. Selain murah, MnO_2 juga memiliki sifat pseudokapasitif dan ramah lingkungan. Metode yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel MnO_2 adalah metode elektrokimia melalui reduksi KMnO_4 menggunakan karbon aktif sebagai reduktor (Zhang, 2012). Pada penelitian ini, komposit nanopartikel MnO_2 terbentuk melalui deposisi MnO_2 pada permukaan karbon aktif. Deposisi MnO_2 dengan ukuran nano pada permukaan karbon aktif dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan dan konduktifitas (Zakir dkk., 2013; Nursiti dkk., 2018).

Zhang dkk. (2012) telah mendeposisi MnO_2 pada permukaan karbon aktif komersial dan menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang jauh lebih tinggi (163,3 F/g) jika dibandingkan dengan karbon aktif komersial tanpa penyisipan MnO_2 (84,3 F/g). Penelitian yang dilakukan Wang dkk. (2015) juga menghasilkan kapasitansi spesifik yang besar yaitu 332,6 F/g. Fitriani (2017) menjelaskan deposisi nanopartikel MnO_2 pada permukaan karbon aktif tongkol jagung dipengaruhi oleh suhu dan massa karbon aktif. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan kadar MnO_2 dan hal serupa dalam pengaruh massa karbon aktif dimana semakin banyak massa karbon maka semakin banyak MnO_2 yang diserap pada permukaan karbon aktif. Suhu juga berpengaruh pada stabilitas nanopartikel

karena energi kinetik meningkat seiring dengan kenaikan suhu sehingga terjadi tumbukan dan mempengaruhi pembentukan nanopartikel pada permukaan karbon aktif (Mahmoudi dkk, 2019).

Penggunaan karbon aktif yang semakin meningkat khususnya dalam penyimpanan energi menumbuhkan kreativitas untuk memaksimalkan fungsi karbon. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari pembuatan karbon aktif yang harganya murah misalnya dengan pemanfaatan biomassa. Karbon aktif dari biomassa dapat dibuat dari berbagai sumber yang ada di alam seperti tempurung kelapa, tongkol jagung (Fitriani, 2017), ampas penggilingan tebu (Kunusa., 2020), tempurung kemiri (Maulana, 2021), dan lain sebagainya.

Bahan yang digunakan untuk membuat karbon pada penelitian ini adalah tempurung kemiri. Kemiri merupakan salah satu rempah-rempah yang sering dimanfaatkan oleh masyarakat untuk bumbu dapur (Krisnawati dkk., 2011). Namun demikian, dalam pemanfaatannya kemiri juga menghasilkan limbah yaitu tempurung kemiri. Tempurung kemiri yang dihasilkan dapat menumpuk terutama saat musim panen padahal diketahui tempurung tersebut memiliki kadar karbon yang sangat besar dan sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben atau pembuatan arang bakar (Immanuddin, 2021). Tempurung kemiri sebagian besar mengandung senyawa selulosa (25,77%), hemiselulosa (28,73%), dan lignin (36,02%). Berdasarkan kandungannya tersebut tempurung kemiri sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon aktif (Cagnon, 2009).

Karbon aktif umumnya dapat dibuat melalui dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi (Zakir dkk., 2013). Karbonisasi merupakan tahap pembakaran bahan baku pada suhu tinggi yang menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa organik yang

menyusun struktur bahan baku, sedangkan aktivasi merupakan salah satu tahap yang dilakukan dengan tujuan memperbesar luas permukaan karbon aktif (Ramdja dkk., 2008). Proses aktivasi dilakukan dengan penambahan aktivator pada karbon. Beberapa aktivator yang dapat digunakan adalah H_3PO_4 , $ZnCl_2$, $NaOH$, dan lain sebagainya (Faujiah, 2012). Aktivator yang digunakan pada penelitian ini yaitu H_3PO_4 .

Penggunaan asam sebagai aktivator dalam pembuatan karbon aktif dapat memperbaiki pori di dalam struktur karbon yang dapat meningkatkan nilai kapasitansi dari karbon aktif (Safii dan Mitarlis, 2013). Hasil penelitian Faujiah (2012) mengenai pembuatan karbon aktif dari limbah padat industri agar-agar menunjukkan bahwa aktivator terbaik adalah H_3PO_4 . Hal ini disebabkan oleh peran H_3PO_4 sebagai katalis untuk meningkatkan laju reaksi pemutusan ikatan lignin dengan selulosa dan hemiselulosa, hidrolisis, dehidrasi dan kondensasi disertai dengan reaksi pengikatan silang antara asam fosfat dan biopolimer lignoselulosa. Kondisi optimum dalam proses aktivasi karbon aktif tempurung kemiri dengan aktivator H_3PO_4 dihasilkan pada suhu $850\text{ }^\circ\text{C}$ dengan nilai kadar karbon tetap 78,38% (Maulana, 2021). Penggunaan larutan H_3PO_4 sebagai aktivator memberi pengaruh yang kuat dalam pembentukan pori dan membuka pori baru pada karbon aktif (Kurniati, 2008).

Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh suhu dan masa karbon tempurung kemiri teraktivasi H_3PO_4 terhadap karakteristik komposit karbon dengan nanopartikel MnO_2 . Analisis yang dilakukan terdiri atas analisis gugus fungsi dengan titrasi Boehm dan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR), analisis keberadaan nanopartikel MnO_2 dengan spektrofotometer

UV-Vis, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui keberadaan dan ukuran nanopartikel MnO₂ pada permukaan karbon aktif.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana pengaruh aktivator H₃PO₄ terhadap sifat kimia karbon aktif tempurung kemiri?
2. bagaimana pengaruh suhu dan massa karbon terhadap proses reduksi pembentukan komposit karbon dengan nanopartikel MnO₂?
3. bagaimana karakteristik komposit karbon dengan nanopartikel MnO₂ hasil reduksi dari KMnO₄ oleh karbon aktif tempurung kemiri?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah mensintesis komposit karbon dengan nanopartikel MnO₂ hasil reaksi KMnO₄ dan karbon tempurung kemiri teraktivasi H₃PO₄ dan menentukan suhu dan massa karbon optimum dalam pembuatan nanopartikel MnO₂.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menentukan pengaruh aktivator H₃PO₄ terhadap sifat kimia karbon aktif tempurung kemiri.
2. menentukan pengaruh suhu dan massa karbon terhadap proses reduksi pembentukan komposit karbon dengan nanopartikel MnO₂.

3. menganalisis karakteristik komposit karbon dengan nanopartikel MnO_2 hasil reduksi dari KMnO_4 oleh karbon aktif tempurung kemiri.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pembuatan komposit nanopartikel MnO_2 dan memberikan data mengenai pengaruh suhu dan massa karbon terhadap struktur komposit nanopartikel MnO_2 serta pengaruh aktivator H_3PO_4 terhadap sifat kimia karbon aktif tempurung kemiri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Nanopartikel

Wahyudi dkk. (2011) menyatakan bahwa perkembangan zaman yang semakin pesat menghasilkan teknologi yang semakin canggih. Hal ini menarik perhatian para ahli untuk menciptakan teknologi yang memiliki kualitas yang lebih baik dan tentunya bermanfaat bagi kehidupan manusia. Salah satu bukti dari perkembangan teknologi khususnya di bidang teknologi sains yaitu penemuan nanoteknologi. Studi nano pertama kali diperkenalkan pada tahun 1959 oleh Richard Feynman yaitu seorang ahli fisika dari Amerika. Studi nano kini intensif dikembangkan oleh berbagai negara maju melihat keuntungan yang diperoleh dari produk-produk nanoteknologi sangat besar (Rochani dan Wahyudi, 2010). Perkembangan nanoteknologi saat ini memiliki peranan yang penting di berbagai bidang seperti industri, kesehatan, dan sebagainya (Nagarajan dan Hotton, 2008).

Secara umum, nanoteknologi dapat didefinisikan sebagai teknologi perancangan (desain), pembuatan dan aplikasi struktur atau material yang berdimensi nanometer. Tidak hanya mencakup cara menghasilkan material atau partikel berukuran nanometer, nanoteknologi juga mencakup cara memproduksi dan mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang dibuat (Ariyanta, 2014). Salah satu peranan nanoteknologi saat ini yaitu preparasi material yang lebih dikenal dengan sebutan nanopartikel. Nanopartikel berukuran 1-100 nm. Penelitian mengenai nanopartikel sedang berkembang pesat karena dapat diaplikasikan secara luas baik dalam bidang lingkungan, elektronik, optis, penyimpanan energi dan biomedis (Wahyudi dkk., 2011).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan metode fisika dan kimia, dimana pada metode fisika padatan logam menjadi partikel-partikel kecil berukuran nano sedangkan dalam metode kimia dibentuk partikel-partikel nano dari prekursor molekuler atau ionik (Riyanto dkk., 2020). Menurut Zakir dkk. (2021) beberapa teknik yang dapat digunakan dalam memproduksi nanopartikel yaitu reduksi kimia, fotokimia, sonokimia, dan lain sebagainya. Teknik sonokimia merupakan teknik yang menggunakan alat ultrasonik untuk memecah padatan logam menjadi partikel yang berukuran nano sedangkan teknik fotokimia menggunakan radiasi tinggi dari sinar UV, namun cara yang sangat populer adalah dengan cara reduksi kimia. Hal ini disebabkan karena alasan faktor kemudahan, biaya yang relatif murah serta kemungkinannya untuk diproduksi dalam skala besar (Lu dan Chou, 2008).

Berbagai disiplin ilmu seperti kimia, fisika, ilmu material, teknik, elektrik, dan lain sebagainya memiliki kontribusi dalam pengembangan nanomaterial (Lauterwasser, 2017). Sintesis dan karakterisasi nanopartikel saat ini terutama dari bahan ramah lingkungan merupakan bidang yang penting dari penelitian. Beberapa penelitian menjelaskan bahwa ukuran, bentuk, stabilitas, sifat fisika maupun kimia nanopartikel dipengaruhi oleh kondisi proses sintesisnya (Sharma dkk., 2009).

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu jenis karbon amorf yang tersusun paralel berbentuk cincin heksagonal menyerupai struktur grafit (Cecen dan Aktas, 2012). Karbon aktif dapat diperoleh dari material-material yang mengandung karbon (C) yang diberi perlakuan khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif memiliki luas permukaan berkisar antara 300-2000 m²/g, volume pori

berkisar antara 0,7 cm³/g sampai 1,8 cm³/g (Jamilatun dan Setiawan, 2014; Ramdja dkk., 2008).

Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang besar dan mengandung pori dengan ukuran diameter yang berbeda. Sifat fisika dari karbon aktif dan kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa-senyawa kimia tertentu tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaannya (Darmawan, 2008). Klasifikasi karbon aktif berdasarkan ukuran pori dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kalsifikasi karbon aktif berdasarkan ukuran pori (Jankowska dkk.,1990)

Jenis Pori	Diameter Pori
Mikropori	< 2nm (< 20 Å)
Mesopori	2 nm – 50 nm (20 Å – 500 Å)
Makropori	> 50 nm (> 500 Å)

Selain berfungsi dalam adsorpsi suatu senyawa, karbon berpori juga berfungsi sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor karena luas permukaan spesifik yang besar, aksesibilitas pori tinggi, stabilitas termal dan kimia yang sangat baik serta biaya yang relatif murah (Zhu dkk., 2007).

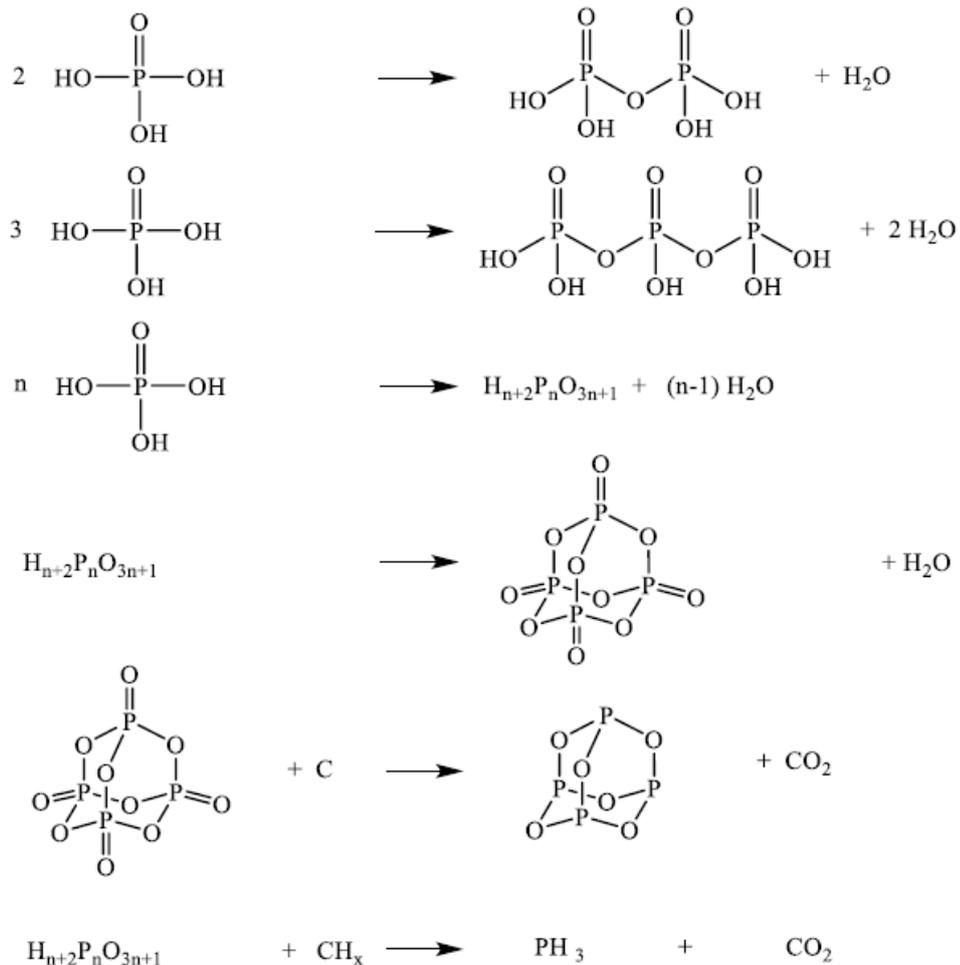
Penelitian mengenai pembuatan karbon aktif telah banyak dilakukan terutama mengenai faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari karbon aktif tersebut seperti bahan baku, aktivator, suhu, pH, dan lain sebagainya (Maulana, 2021; Fitrilya 2021). Beberapa bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan karbon aktif yaitu batubara, kayu, serbuk gergaji dan limbah pertanian seperti tempurung kemiri, sekam padi, sabut kelapa, tongkol jagung, ampas pembuatan kertas dan ampas penggilingan tebu (Sembiring dan Sinaga, 2003; Lempang dkk, 2009).

Pembuatan karbon aktif umumnya terdiri dari dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi. Tahap pertama yakni karbonisasi merupakan proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon dan pengeluaran unsur-unsur nonkarbon yang berlangsung pada suhu yang tinggi (Prasetyo dan Nasrudin, 2013). Selama proses karbonisasi sebagian besar unsur-unsur non karbon seperti oksigen, nitrogen, dan hidrogen akan terlepas dari karbon sebagai gas yang menguap akibat proses pirolisis (Tawalbeh, 2005). Oleh karena itu, proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003). Proses karbonisasi kemudian dilanjutkan dengan proses aktivasi.

Rahayu dan Adhitiyawarman (2014) menjelaskan aktivasi adalah proses yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang menutupi pori-pori karbon dan memperbesar pori yang sebelumnya telah dibersihkan dari zat-zat yang mudah menguap. Proses aktivasi akan memutuskan ikatan hidrokarbon sehingga meningkatkan porositas karbon (Budiono dkk., 2009). Aktivasi terbagi menjadi dua yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika menggunakan suhu tinggi dan aliran gas CO₂ atau nitrogen sedangkan aktivasi kimia menggunakan *activating agent* atau biasa disebut aktivator (Putri, 2021).

Contoh bahan-bahan kimia yang digunakan sebagai aktivator yaitu H₃PO₄, ZnCl₂, CaCl₂, K₂S, HCl, H₂SO₄, NaCl dan Na₂CO₃ setelah proses karbonisasi. Penelitian Faujiah (2012) menunjukkan bahwa H₃PO₄ merupakan bahan kimia yang cukup baik untuk digunakan dalam proses aktivasi. Berdasarkan penelitian Kurniati (2008) jenis dan banyaknya gugus fungsional yang dihasilkan pada proses aktivasi karbon tempurung kemiri dengan asam fosfat (H₃PO₄) akan berpengaruh terhadap pembentukan gugus fungsional yang mengandung nitrogen pada karbon

aktif tempurung kemiri. Penggunaan larutan H_3PO_4 sebagai bahan pengaktif memberi pengaruh yang kuat dalam pembentukan pori dan membuka pori baru. Mekanisme aktivasi karbon menggunakan larutan H_3PO_4 dijelaskan pada Gambar 1 (Li dkk., 2012).



Gambar 1. Mekanisme pengaktifan karbon dengan larutan H_3PO_4

Produk karbon aktif yang telah dihasilkan melalui tahapan karbonisasi dan aktivasi harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 1995 yang dapat dilihat pada Tabel 2. Mutu karbon aktif dapat diuji melalui analisis proksimat (kadar air, kadar abu dan kadar volatil). Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui tingkat higroskopisitas sampel. Secara teori semakin meningkat suhu karbonisasi

maka kadar air yang terkandung pada karbon semakin kecil dikarenakan banyaknya air yang menguap (Hartanto dan Ratnawati, 2010). Berbeda dengan pengujian kadar air, pada pengujian kadar abu meningkatnya suhu karbonisasi menyebabkan kadar abu yang terkandung pada karbon akan semakin besar. Hal ini terjadi karena bahan banyak terbakar dan menyisakan abu (Putro dkk., 2015). Kadar volatil didefinisikan sebagai persentase zat yang mudah menguap ketika dipanaskan pada suhu tinggi dengan melibatkan oksigen yang terbatas, dimana secara teori semakin meningkat suhu karbonisasi maka kadar volatil yang terkandung pada karbon semakin kecil. Sudrajat dan Pari (2011) menjelaskan mutu karbon aktif tergantung dari jenis bahan baku, teknologi pengolahan, cara pengerjaan dan ketepatan penggunaannya.

Tabel 2. Persyaratan Karbon Aktif Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) No.06-3730-1995

No	Uraian	Persyaratan	
		Butiran	Serbuk
1	Kadar senyawa volatil (%)	Maks 15	Maks 25
2	Kadar air (%)	Maks 4,5	Maks 15
3	Kadar abu (%)	Maks 2,5	Maks 10
4	Bagian tidak mengarang	0	0
5	Daya serap terhadap I ₂ (mg/g)	Min 750	Min 750
6	Karbon aktif murni (%)	Min 80	Min 60
7	Daya serap terhadap benzena (mg/g)	Min 25	-
8	Daya serap terhadap metilen biru (mg/g)	Min 60	Min 120
9	Bobot jenis curah (g/mL)	0,45-0,55	0,3-0,35
10	Lolos mesh	-	Min 90
11	Jarak mesh (%)	90	-
12	Kekerasan	80	-

2.3 Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) sebagai Karbon Aktif

Umumnya karbon aktif sering diproduksi dari bahan baku yang berasal dari minyak bumi dan batubara, namun karena faktor ketersediaan yang terbatas dan tidak dapat didaur ulang maka diperlukan bahan alternatif lain untuk memproduksi karbon aktif (Cuhadaroglu dan Uygun, 2008). Salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan adalah tempurung kemiri yang merupakan biomassa yang dapat dimanfaatkan dan memiliki harga yang lebih ekonomis serta mempunyai karakteristik baik (Sulaiman dkk., 2017). Tempurung kemiri dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) (Tambunan dkk., 2014)

Aleurites moluccana atau lebih dikenal dengan sebutan kemiri adalah salah satu tanaman dari keluarga *Euphorbiaceae* yang mampu tumbuh di daerah beriklim kering maupun basah (Rosman dan Djauhariya, 2006). Kemiri terdiri dari 2 lapis kulit yaitu kulit buah dan tempurung dimana setiap kilogram kemiri akan dihasilkan sebanyak 30% inti dan 70% tempurung (Gianyar dkk., 2012). Kemiri menjadi salah satu tanaman yang dibudidayakan khususnya di daerah pedesaan karena memiliki banyak manfaat diantaranya yaitu sebagai bahan masakan (bumbu dapur), obat-obatan, dan batangnya dapat diolah menjadi kayu (Krisnawati dkk., 2011 dan Halimah, 2016).

Menurut Krisnawati dkk. (2011), klasifikasi tanaman kemiri sebagai berikut:

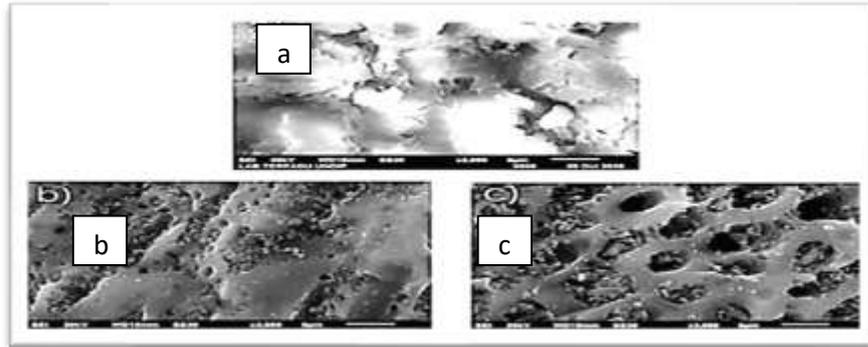
Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Subdivis : Angiospermae
Kelas : Dicotyledoneae
Ordo : Archichlamydae
Familia : Euphorbiaceae
Genus : *Aleurites*
Spesies : *Aleurites moluccana*

Tabel 3. Komposisi kimia tempurung kemiri (Darmawan dkk., 2016)

Komposisi Kimia	Kadar (%)
Selulosa	25,77
Hemiselulosa	28,73
Total lignin	36,02
Klason	36,00
Lignin terlarut asam	0,02
Alkohol – benzena terlarut	8,53

Tempurung kemiri sebagian besar mengandung senyawa selulosa (25,77%), hemiselulosa (28,73%), lignin (36,02%), dan senyawa lain yang terdapat dalam Tabel 3 (Darmawan dkk, 2016). Kandungan lignin yang tinggi dalam tempurung kemiri memberikan hasil yang sama tinggi untuk karbon aktifnya (Cagnon, 2009). Selulosa berperan dalam pembentukan mikropori pada karbon. Pemisahan lignin, selulosa dan hemiselulosa melalui perendaman dengan aktivator dapat membentuk pori-pori yang sudah bersih dari zat pengotor sehingga dapat digunakan sebagai karbon aktif (Handayani, 2010). Perbedaan morfologi permukaan dan pembentukan pori material karbon aktif tempurung kemiri dari hasil analisis SEM (*Scanning*

Electron Microscope) dapat dilihat pada Gambar 3 dimana karbon yang telah teraktivasi H_3PO_4 memiliki pori-pori yang lebih jelas dan banyak (Maulana, 2021).



Gambar 3. Hasil analisis SEM pada perbesaran 3000x dari (a) tempurung kemiri (b) karbon tempurung kemiri dan (c) karbon aktif tempurung kemiri (Maulana, 2021).

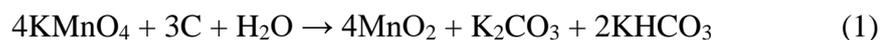
Beberapa penelitian mengenai karbon aktif dari bahan alam tempurung kemiri menunjukkan hasil yang baik, dimana kadar karbon yang dihasilkan sebesar 75,79% (Lempang, 2009), 66,79% (Purwanto, 2011), dan 78,38% (Maulana, 2021). Penelitian Muzakir (2018) mengenai potensial tempurung kemiri sebagai material karbon superkapasitor menunjukkan proses aktivasi mampu meningkatkan luas permukaan material karbon sehingga dapat memberikan efek pseudokapasitansi yang dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif. Hal ini terjadi karena pembentukan pori-pori baru setelah aktivasi.

2.4 Komposit Nanopartikel MnO_2

Sintesis nanopartikel merupakan kajian yang berkembang saat ini karena memiliki aplikasi yang beragam, misalnya dalam elektroda dan penyimpanan energi (Nuraeni, 2017). Oksida logam transisi seperti RuO_2 dan MnO_2 menjadi contoh material nano yang dikembangkan dan memiliki sifat pseudokapasitif. Namun, RuO_2 memiliki harga mahal sehingga alternatif oksida yang lebih dipertimbangkan adalah MnO_2 (Pinero dkk., 2006).

Material mangan oksida berwarna hitam-kecoklatan dan secara khas terdapat dalam bentuk butiran yang bagus, kristalin dan lapisan. Kristalin oksida mangan adalah material yang mempunyai sifat yang dapat mengadsorpsi molekul (Ningsih, 2015). Selain lebih baik dari segi ekonomis, MnO₂ juga dianggap sebagai salah satu elektroda yang paling menjanjikan sebagai bahan untuk superkapasitor karena ramah lingkungan.

Mangan dioksida (MnO₂) dihasilkan dari proses pencampuran antara karbon dan KMnO₄. Karbon aktif berperan sebagai reduktor dalam mereduksi KMnO₄ menjadi MnO₂. Mangan dioksida yang dihasilkan akan terdeposisi pada permukaan karbon aktif (MnO₂/AC). Hal ini ditandai dengan perubahan warna karbon aktif menjadi hitam kecoklatan (Zhang dkk., 2012) dan sebagian terdispersi dalam larutan membentuk sistem koloid yang ditandai dengan perubahan warna larutan KMnO₄ yaitu ungu menjadi kuning hingga kuning kecoklatan (Fitriani, 2017). Reaksinya dapat dilihat pada reaksi berikut.



Berdasarkan beberapa penelitian, penyisipan MnO₂ pada permukaan elektroda kapasitor baik yang terbuat dari polimer atau karbon memberikan efek pseudokapasitif yang cukup baik. Zhang dkk. (2012) telah mendeposisi MnO₂ pada permukaan karbon aktif komersial dan menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif komersial tanpa penyisipan MnO₂. Kapasitansi spesifik karbon aktif tanpa penyisipan sebesar 84,3 F/g sedangkan sesudah penyisipan sebesar 163,3 F/g. Selain itu, Meng dkk. (2013) telah mensintesis elektroda kapasitor dari nanokomposit MnO₂ dengan polimer polianilin dan ternyata juga memperoleh

hasil yang serupa. Deposisi MnO_2 pada permukaan karbon aktif tongkol jagung dapat meningkatkan nilai kapasitansi karbon aktif dan menyebabkan kemampuan elektroda meningkat sekitar 8000 kali dari sebelumnya dan dalam pembentukannya MnO_2 perlu diperhatikan beberapa faktor seperti massa karbon aktif, konsentrasi KMnO_4 , suhu, dan pH untuk memaksimalkan nilai kapasitansinya (Fitriani, 2017).

2.5 Karakterisasi Nanopartikel (UV-Vis, FTIR, XRD)

Karakterisasi nanopartikel sangat penting untuk mengetahui struktur dan bentuk dari nanopartikel itu sendiri. Beberapa instrumen yang biasa digunakan untuk karakterisasi nanopartikel yaitu UV-Vis, FTIR, dan XRD.

2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis (*Ultra Violet-Visible*) merupakan salah satu instrumen yang biasa digunakan dalam menganalisa suatu senyawa kimia. Pada penelitian ini instrumen UV-Vis digunakan untuk mengetahui terbentuknya nanopartikel MnO_2 dan stabilitasnya berdasarkan panjang gelombang maksimum dan nilai absorbansi yang khas dari produk nanopartikel (Das dkk., 2009). Analisis MnO_2 dilakukan dengan melakukan pengukuran pada filtrat yang dihasilkan pada panjang gelombang 200-700 nm. Larutan KMnO_4 yang belum tereduksi memiliki panjang gelombang 507, 525 dan 545 nm, sedangkan nanopartikel MnO_2 memiliki serapan pada panjang gelombang 325 dan 365 nm (Fitriani, 2017).

2.5.2 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) berfungsi untuk mengetahui gugus-gugus fungsional dalam suatu sampel uji (Juneno, 2013). FTIR bekerja pada vibrasi frekuensi tertentu yang menyerap pada daerah inframerah. Sampel akan

menyerap beberapa inframerah yang melewati celah dan inframerah yang tidak akan diserap dideteksi dan diteruskan menuju detector dan kemudian direalisasikan dalam bentuk spektrum. Penelitian yang dilakukan Sivakumar dan Prabu (2021) mengenai sintesis dan karakterisasi nanopartikel MnO₂ untuk aplikasi superkapasitor dapat menunjukkan spektrum inframerah dari nanopartikel MnO₂ dimana biasanya pita serapan oksida logam dalam hal ini MnO₂ berada di bawah 1000 cm⁻¹ yang menghasilkan getaran interatomik. Puncak tajam pada serapan 524 cm⁻¹, 584 cm⁻¹ dan 675 cm⁻¹ disebabkan oleh vibrasi ikatan Mn-O, puncak 1392 cm⁻¹ menunjukkan tekukan O₂, dan pada 1634 cm⁻¹ serta 3430 cm⁻¹ sesuai dengan getaran O-H air.

2.5.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi MnO₂/AC dapat dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisis menggunakan XRD akan menghasilkan puncak-puncak yang spesifik (Heryanto dkk., 2018). Metode penentuan struktur kristal material dengan analisis XRD ini berdasarkan pada hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang dalam kristal tersebut (Irvina dkk., 2009). Ukuran kristal (nm) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$D = \frac{K \lambda}{B \cos \theta} \quad (2)$$

Dimana :

D = ukuran kristal (nm)

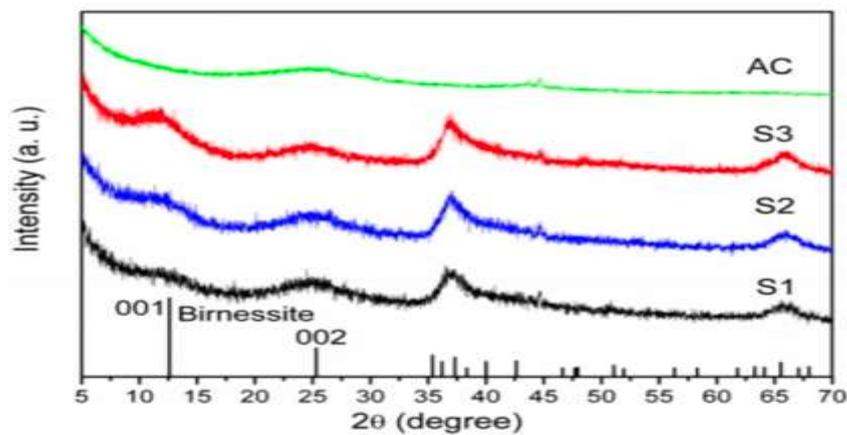
$K = \text{Konstanta material} = 0,9$

$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$ (panjang gelombang radiasi Cu atau Ca)

$B = \text{lebar setengah puncak maksimum (rad)}$

$\theta = \text{sudut difraksi}$

Karakterisasi XRD oleh Zhang (2012) dapat menunjukkan perbedaan pola difraksi antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi MnO_2 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum XRD karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi MnO_2 (Zhang dkk, 2012)

Difaktogram sampel karbon aktif (AC) menunjukkan adanya puncak lebar pada daerah 25° yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif, sedangkan pada sampel karbon aktif yang telah di deposisi MnO_2 (AC/ MnO_2) menunjukkan puncak baru pada 2θ sekitar 37° dan 65° (Zhang dkk, 2012).