

*Skripsi*

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

**CITRA ICHSANI AMALIA MAKKARAKA**

**H031 18 1302**



**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**PENGARUH pH DAN KONSENTRASI PERMANGANAT 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**

**CITRA ICHSANI AMALIA MAKKARAKA**

**H031 18 1302**



**MAKASSAR**

**2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

CITRA ICHSANI AMALIA MAKKARAKA

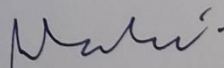
H031.18.1302

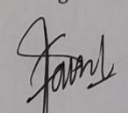
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi  
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Pada 11 Januari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

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 00202

### PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Citra Ichsani Amalia Makkaraka

NIM : H031181302

Program Studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Pengaruh pH dan Konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  Terhadap Karakteristik Komposit Nanopartikel  $\text{MnO}_2$  Hasil Reaksi  $\text{KMnO}_4$  dan Karbon Tempurung Kemiri Teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ” 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 gunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 11 Januari 2023

Yang Menyatakan,



Citra Ichsani Amalia Makkaraka

## PRAKATA

### *Bismillahirrahmanirrahim...*

Segala puji syukur hanya kepada Allah SWT. atas berkat hidayah dan rahmat-Nya selama ini hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“Pengaruh pH dan Konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  Terhadap Karakteristik Komposit Nanopartikel  $\text{MnO}_2$  Hasil Reaksi  $\text{KMnO}_4$  dan Karbon Tempurung Kemiri Teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ”**. Sholawat serta salam semoga tetap tercurah kepada junjungan *Nabiyullah* Muhammad SAW., selaku suri tauladan dan *rahmatan lil'alam*. Berbagai kendala dan tantangan yang dialami penulis, namun berkat doa, motivasi dan dukungan dari berbagai pihak hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua terkasih, Ibunda **Ratna Syam** dan Ayahanda **Burhan Makkaraka** yang telah mendidik dan membesarkan penulis, terima kasih atas semua kasih sayang, dukungan, motivasi, dan doa yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Tak lupa, saudara/i penulis (**Triana Eka Lestari, Chandra Makkaraka, Azwaluddin Makkaraka, Ayu Maharani, Dinda Darapati**) yang telah *mensupport* dan memotivasi penulis dalam mengerjakan penelitian dan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si.** dan Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si.** selaku dosen pembimbing yang selama ini telah banyak meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan ilmunya dalam mengarahkan penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Tak lupa, penulis ucapkan terima kasih kepada Ibu **Prof. Dr. Nunuk Hariani, MS.** dan Ibu **Dr. Seniwati Dali, S.Si, M.Si.** selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik, saran dan masukan yang membangun kepada penulis.

Segep hati yang tulus dan penuh hormat juga penulis huturkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku Ketua Departemen Prodi Kimia Universitas Hasanuddin dan Ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si.** selaku sekretaris Departemen Kimia, seluruh dosen-dosen dan staf pegawai prodi Kimia, FMIPA Universitas Hasanuddin.
2. Seluruh **Dosen Departemen Kimia** yang telah membagi ilmunya kepada penulis.
3. Seluruh analis dan staf Departemen Kimia FMIPA Unhas, **Pak Sugeng, Bu Tini, Pak Iqbal, Kak Linda, Kak Hana, Kak Fiby, Bu Anti, Kak Akbar, Kak Rahma, Kak Tenri, dan Pak Chaerul**, yang telah banyak membantu penulis selama melakukan penelitian.
4. Rekan Tim Nano, **Jumita, Maya, dan Defa** sumber ide dan drama selama penelitian. Terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya dalam proses penelitian.
5. Anak-anak **Dwianto Family**, Kanda **Agung, Athala, Rika, Febry, Jumita**, dan **Fadlia**. Terima kasih telah menjadi teman, keluarga, serta tempat keluh kesah selama menjalani kehidupan kampus.
6. Teman-teman **H18RIDISASI 2018 dan MIPA 2018**. Terima kasih telah menjadi wadah berteman, bersosialisasi, mencari ilmu, pengalaman, dan keluarga penulis selama menjadi mahasiswa.
7. Terima kasih kepada **Kak Safira dan Kak Elva** yang selalu membantu dari awal penelitian hingga selesai.
8. Rekan-rekan KKN Enrekang 1 **Lala, Nadia, Isti, Yus, Ryan, Angga, Aris, Eko** yang selalu memberi motivasi dan semangat kepada saya selama meneliti.

9. Bapak/ibu pembimbing PKL Laboratorium Forensik Polri Cab. Makassar:  
**Pak Gede, Ibu Hasura, Pak Budi, Pak Usman, Kak Diah** dan **semua personil Bidang Laboratorium Forensik Polda Sulses** terima kasih atas ilmu dan pengalaman selama kami magang.
10. **Semua pihak** yang tidak sempat disebutkan namanya yang telah terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dan telah memberikan bantuan, dukungan, motivasi, serta doa kepada penulis.
11. Kepada diri saya sendiri, yang telah sabar, pantang menyerah, dan selalu semangat hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari segala macam kekurangan, maka dari itu penulis sangat menghargai apabila ada kritik dan saran, demi penyempurnaan skripsi dan pengembangan ilmu pengetahuan, serta penelitian kedepannya. Semoga skripsi ini, dapat memberikan manfaat bagi orang-orang yang berkepentingan. *Aamiin..*

Makassar, Januari 2022

Penulis

## ABSTRAK

Komposit Nanopartikel  $\text{MnO}_2$  telah disintesis dengan menggunakan bahan dasar berupa  $\text{KMnO}_4$  dan karbon aktif dari tempurung kemiri (KATK) yang diaktivasi menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sebagai reduktor untuk mereduksi  $\text{KMnO}_4$  menjadi  $\text{MnO}_2$ .  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan sebagian akan terdeposisi pada permukaan karbon aktif dan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid. Proses pembentukan komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  dipengaruhi oleh beberapa faktor, sehingga pembuatan nanopartikel dalam penelitian ini dilakukan dalam berbagai variasi diantaranya konsentrasi dan pH. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sifat kimia dari karbon aktif yang diaktivasi menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan metode titrasi boehm, menentukan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  dan kondisi pH optimum dalam sintesis komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  serta menganalisis karakteristik dari komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  yang dianalisis menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) dan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  meningkatkan sifat asam dari karbon, dimana kadar asam total dari karbon tempurung kemiri (KTK) dan (KATK) berturut-turut 5,2162 dan 12,9240 meq/gram. Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa kondisi optimum dalam sintesis komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  adalah dengan menggunakan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,0040 M pada pH 10 karena dihasilkan absorbansi tertinggi yaitu 2,559. Karakterisasi menggunakan FTIR terdapat puncak serapan pada  $562\text{ cm}^{-1}$  dan  $520\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi regangan ikatan Mn-O. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan  $\text{MnO}_2$  masuk pada permukaan karbon yang ditunjukkan adanya puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37,15^\circ$  dan  $65,67^\circ$  dan diperoleh ukuran partikel dari komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  sebesar 8,4762 nm.

**Kata kunci:** Komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$ , Konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , pH, Tempurung Kemiri, Reduksi.



## ABSTRACT

MnO<sub>2</sub> nanoparticle composites have been synthesized using basic materials in the form of KMnO<sub>4</sub> and activated carbon from candlenut shells (KATK) which are activated using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> as a reducing agent to reduce KMnO<sub>4</sub> to MnO<sub>2</sub>. The resulting MnO<sub>2</sub> will be partially deposited on the surface of the activated carbon and partially dispersed into the solution to form a colloidal system. The process of forming MnO<sub>2</sub> nanoparticle composites is influenced by several factors, so the manufacture of nanoparticles in this study was carried out in various variations including concentration and pH. This study aims to determine the chemical properties of activated carbon which is activated using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> by the Boehm titration method, determine the concentration of KMnO<sub>4</sub> and optimum pH conditions in the synthesis of MnO<sub>2</sub> nanoparticle composites, and analyze the characteristics of the MnO<sub>2</sub> nanoparticle composite which were analyzed using XRD (X-ray Diffraction) and FTIR. The results showed that activation using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> increased the acidity of the carbon, where the total acid content of candlenut shell carbon (KTK) and (KATK) was 5.2162 and 12.9240 meq/gram, respectively. The results of the analysis using UV-Vis spectrophotometer showed that the optimum condition in the synthesis of MnO<sub>2</sub> nanoparticle composites was using 0.0040 M KMnO<sub>4</sub> concentration at pH 10 because the highest absorbance was 2.559. Characterization using FTIR showed that the absorption peaks at 562 cm<sup>-1</sup> and 520 cm<sup>-1</sup> were strain vibrations of the Mn-O bond. Characterization using XRD showed that MnO<sub>2</sub> entered the carbon surface which was indicated by a new peak at 2θ around 37.15° and 65.67° and the particle size of the MnO<sub>2</sub> nanoparticle composite was 8.4762 nm.

**Keywords:** MnO<sub>2</sub> nanoparticle composite, KMnO<sub>4</sub> concentration, pH, Candlenut shell, Reduction.

## DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	6
1.3.1 Maksud Penelitian.....	6
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Nanopartikel.....	7
2.2 Karbon Aktif.....	8
2.3 Tempurung Kemiri Sebagai Karbon Aktif.....	13
2.4 Nanopartikel MnO <sub>2</sub> /AC.....	16
2.5 Karakterisasi Nanopartikel (XRD dan UV-Vis).....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Bahan Penelitian.....	22

3.2 Alat Penelitian .....	22
3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	22
3.4 Prosedur Penelitian .....	22
3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi .....	22
3.5 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri .....	24
3.6 Sintesis Komposit Nanopartikel MnO <sub>2</sub> .....	25
3.6.1 Pengaruh Konsentrasi KMnO <sub>4</sub> .....	25
3.6.2 Pengaruh pH .....	26
3.6.3 Sintesis Nanopartikel MnO <sub>2</sub> Pada Konsentrasi dan pH optimum.....	26
3.7 Titrasi Boehm .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Preparasi Sampel Tempurung Kemiri .....	28
4.2 Karbonisasi .....	29
4.3 Aktivasi Karbon.....	29
4.4 Sintesis Komposit Nanopartikel MnO <sub>2</sub> .....	30
4.4.1 Pengaruh Konsentrasi KMnO <sub>4</sub> .....	31
4.4.2 Pengaruh pH .....	37
4.5 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR.....	42
4.6 Karakterisasi dengan Metode Titrasi Boehm .....	44
4.7 Data XRD .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Sintesis karbon dengan metode karbonisasi.....	11
2. Mekanisme pengaktifan karbon dengan larutan $H_3PO_4$ .....	12
3. Tempurung kemiri.....	15
4. Mikrofotogram menggunakan SEM pada permukaan arang dan arang aktif tempurung kemiri (Perbesaran 5000x). ....	16
5. Struktur dari $\alpha$ - $MnO_2$ dan $\beta$ - $MnO_2$ .....	17
6. Pola XRD Karbon dan $MnO_2/AC$ .....	20
7. Spektrum serapan dari larutan $MnO_4^-$ dan filtrat hasil reduksi $KMnO_4$ .....	21
8. Spektrum FTIR nanopartikel $MnO_2/AC$ .....	21
9. Sampel tempurung kemiri yang telah bersih .....	28
10. Karbon tempurung kemiri (KTK) Ukuran 150 Mesh .....	29
11. Karbon aktif tempurung kemiri (KATK).....	30
12. Spektrum serapan UV-Vis dari $KMnO_4$ dan koloid $MnO_2$ yang disintesis serta A (Akuades), B (larutan $KMnO_4$ ), dan C (koloid $MnO_2$ ) ketika ditembakkan sinar laser.....	30
13. Ilustrasi pembentukan komposit nanopartikel $MnO_2$ .....	32
14. Spektrum UV-Vis filtrat hasil reduksi $KMnO_4$ oleh KATK pada variasi konsentrasi.....	33
15. Fraksi $[MnO_4^-]$ dalam larutan (%) variasi konsentrasi.....	35
16. Kadar $MnO_2$ pada variasi konsentrasi.....	37
17. Spektrum UV-Vis filtrat hasil reduksi $KMnO_4$ oleh KATK pada variasi pH.....	38
18. Fraksi $[MnO_4^-]$ dalam larutan (%) variasi konsentrasi.....	39

19. Spektrum UV-Vis filtrat hasil reduksi $\text{KMnO}_4$ oleh KATK pada pH 12.....	41
20. Kadar koloid $\text{MnO}_2$ pada variasi pH.....	41
21. Spektrum FTIR karbon tempurung kemiri (KTK); karbon aktif tempurung kemiri (KATK); dan Komposit $\text{MnO}_2$ ( $\text{MnO}_2/\text{AC}$ ).....	43
22. Grafik perbandingan gugus-gugus fungsi dari KTK, KATK, dan $\text{MnO}_2/\text{AC}$ . .....	44
23. Mekanisme reduksi $\text{MnO}_4^-$ menjadi $\text{MnO}_2$ .....	46
24. Pola difraksi XRD KATK dan $\text{MnO}_2/\text{AC}$ .....	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>halaman</b>
1. Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) No.06-3730-1995.....	13
2. Komponen kimia tempurung kemiri .....	15
3. Data UV-Vis filtrat hasil reduksi larutan $\text{KMnO}_4$ oleh KATK pada variasi konsentrasi.....	35
4. Data UV-Vis filtrat hasil reduksi larutan $\text{KMnO}_4$ oleh KATK pada variasi pH .....	40
5. Perbandingan bilangan gelombang pita serapan KTK, KATK, dan $\text{MnO}_2/\text{AC}$ .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Diagram alir penelitian.. .....	55
2. Bagan kerja .....	56
3. Perhitungan pembuatan larutan pereaksi.. .....	60
4. Dokumentasi penelitian.....	62
5. Hasil karakterisasi FTIR KTK, KATK, dan MnO <sub>2</sub> /AC.....	65
6. Hasil Karkterisasi UV-Vis .....	68
7. Perhitungan sisa [MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ] dalam larutan dan kadar MnO <sub>2</sub> variasi konsentrasi.. .....	78
8. Perhitungan sisa [MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ] dalam larutan dan kadar MnO <sub>2</sub> variasi pH..	82
9. Hasil karakterisasi XRD.. .....	88
10. Hasil perhitungan gugus fungsional asam dan basa pada titrasi boehm.....	89

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/ singkatan	arti
AC	<i>Activated Carbon</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
F/g	Farad per gram
JCPDS	<i>International Center for Diffraction Data</i>
KTK	Karbon Tempurung Kemiri
KATK	Karbon Aktif Tempurung Kemiri
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

*Nanoscience* merupakan ilmu yang mempelajari fenomena khususnya pada benda yang berukuran 1 sampai 100 nm. Nanoteknologi adalah istilah umum yang merujuk pada teknik dan metode untuk mempelajari, mendesain, dan fabrikasi alat pada tingkatan atom maupun molekul. Nanopartikel merupakan pengembangan dari nanoteknologi yang unik dan dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang kehidupan, seperti sebagai elektroda superkapasitor elektrokimia, katalis, sensor, dan adsorben. Peran nanopartikel begitu penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan maupun teknologi (Amin dkk., 2019).

Kajian sains nanopartikel pada dekade terakhir ini telah menjadi kajian yang intensif dilakukan. Kajian sains nanopartikel pada logam Golongan VIIB juga telah dilakukan, khususnya Mangan (Mn) dan Teknesium (Tc) dikarenakan harganya murah, toksisitas yang rendah, dan kelimpahannya di alam cukup banyak sehingga sangat efektif untuk digunakan sebagai elektroda pada superkapasitor. Reduksi  $TcO_4^-$  untuk menghasilkan koloid  $TcO_2 \cdot nH_2O$  melalui proses yang melibatkan reaksi bimolekuler  $TcO_4^-$  dengan elektron terhidrasi diikuti oleh reaksi disproporsional berturut-turut Tc (VI) dan Tc (V) menjadi Tc (IV). Pada larutan asam,  $TcO_4^-$  direduksi oleh  $H^+$  untuk menghasilkan spesies polimerik Tc (IV). Spesies Tc (IV) terlarut yang diuapkan sebagai spesies Tc (IV) polimer terbentuk ketika larutan  $TcO_4^-$  pada pH 1,8. Pada pH 2,7 koloid teknesium (IV) oksida terbentuk selain spesies polimer Tc (IV). Pada pH 4,1 hanya koloid  $TcO_2 \cdot nH_2O$  yang terbentuk. Seiring dengan meningkatnya pH larutan, menunjukkan bahwa spesies polimer Tc (IV) adalah prekursor koloid

$TcO_2 \cdot nH_2O$ . Kajian mekanisme pembentukan nanopartikel  $MnO_2$  juga perlu dilakukan sehingga diharapkan memberikan kontribusi baru dalam perkembangan sains nanopartikel (Sekine dkk. 2004; Zakir dkk. 2005). Pembentukan nanopartikel  $MnO_2$  dikaitkan dengan pembentukan  $TcO_2$  (Mn dan Tc berada pada golongan yang sama pada tabel periodik yaitu golongan VII B). Pada penelitian ini, nanopartikel  $MnO_2$  disintesis menggunakan bahan dasar berupa  $KMnO_4$  dan karbon aktif dari tempurung kemiri yang diaktivasi menggunakan  $H_3PO_4$  sebagai reduktor untuk mereduksi  $KMnO_4$  menjadi  $MnO_2$  (Zhang dkk., 2012).

Menurut Zakir dkk. (2013), dan Nursiti dkk. (2018), salah satu cara untuk meningkatkan nilai KS (kapasitansi spesifik) adalah dengan memanfaatkan efek pseudokapasitansi yang tergantung pada sifat fungsional permukaan karbon dan adanya spesies elektroaktif seperti logam transisi: Ru, Ir, W, Mo, Mn, Ni, Co; nitrida, dan senyawa polimer penghantar (*conducting polymers*) yang “ditanam (*deposited*)” pada permukaan karbon.

Nanopartikel  $MnO_2$  yang dikompositkan bersama dengan karbon aktif akan menghasilkan elektroda superkapasitor yang memiliki kapasitas dan konduktivitas yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang dkk. (2012), mendeposisikan nanopartikel  $MnO_2$  bersama dengan karbon aktif menghasilkan elektroda superkapasitor yang memiliki kapasitas spesifik sebesar 201 F/g. Penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk. (2015), mensintesis komposit  $MnO_2$ /karbon aktif untuk superkapasitor diperoleh kapasitas sebesar 332.6 F/g. Penelitian yang dilakukan oleh Nursiti dkk. (2018), mensintesis  $MnO_2/C$  yang memiliki kapasitas 48 F tiap satu gram dibandingkan dengan kapasitor komersil yang kapasitasnya hanya 100 mF tiap 30 gram massa total kapasitor. Hal ini menunjukkan bahwa superkapasitor dengan material nanokomposit  $MnO_2/C$  yang disintesis jauh lebih unggul dibanding kapasitor komersil.

Tempurung kemiri dipilih sebagai bahan baku dari karbon aktif karena bahan ini sangat mudah untuk didapatkan, harganya relatif murah dan juga sebagai upaya pengelolaan terhadap limbah. Tempurung kemiri dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena tersusun dari selulosa, holoselulosa, lignin dan komponen anorganik. Berdasarkan kandungan senyawa kimia tempurung kemiri yaitu, holoselulosa 49,22%, pentosa 14,55% dan lignin 54,68% maka tempurung kemiri sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai material awal pembuatan karbon aktif (Lempang dkk., 2009; Bonelli, 2001).

Pembuatan karbon aktif melalui beberapa tahap diantaranya tahap karbonisasi dan aktivasi. Bahan baku karbon aktif dikarbonisasi untuk menghilangkan zat pengotor pada permukaan karbon sehingga pori-pori terbuka. Pada saat karbonisasi, luas permukaan telah terbuka tetapi masih terdapat pengotor yang menutupi pori, sehingga perlu dilakukan aktivasi dengan cara perendaman menggunakan asam fosfat untuk mengaktifkan karbon dengan mengangkat residu-residu yang menutupi permukaan pori sehingga dihasilkan karbon dengan luas permukaan yang lebih besar (Manocha, 2003). Faujiah (2012), membuat karbon aktif dari limbah padat dari industri agar-agar menggunakan tiga aktivator yaitu  $H_3PO_4$ , KOH dan  $ZnCl_2$ . Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa aktivator terbaik adalah  $H_3PO_4$  karena asam ini berperan 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 (Osvaldo dan Faisal, 2012). Menurut Safii dan Mitarlis (2013), penggunaan asam sebagai aktivator dapat memperbaiki pori di dalam struktur karbon yang dapat meningkatkan nilai kapasitansi dari karbon aktif.

Sejak tahun 2014, aplikasi karbon aktif biomassa limbah pertanian sebagai *energy storage material* baik dalam baterai maupun kapasitor juga telah dilakukan, misalnya KASP (karbon aktif sekam padi) (Alif dkk., 2014). Kendala utama yang dihadapi dalam preparasi KASP sebagai bahan penyimpan energi (*energy storage material*) adalah ketervariasian ukuran pori yang diperoleh mulai dari mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm) dan makropori (>50 nm). Transport ion elektrolit dalam KASP dengan karakteristik pori demikian akan sangat lambat sehingga akan membatasi pembentukan *electric double layer* (lapisan ganda listrik), yang pada akhirnya akan menurunkan daya muat/kapasitansi elektroda untuk aplikasi superkapasitor (Chen, dkk. 2015). Nanopartikel MnO<sub>2</sub> dapat memberikan efek pseudo-kapasitif yang akan meningkatkan kapasitansi melalui reaksi redoks proton atau kation dengan elektrolit dalam sistem kapasitor (Chen dkk., 2018; Yao dkk., 2019). Oleh hal itu, pada penelitian ini nanopartikel MnO<sub>2</sub> akan dikompositkan pada KATK dengan prekursor KMnO<sub>4</sub>. Mangan oksida (nanopartikel MnO<sub>2</sub>) merupakan salah satu senyawa pseudo-kapasitif yang dapat meningkatkan kapasitansi superkapasitor secara revolusioner.

Sintesis komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub> sangat dipengaruhi oleh pH maupun konsentrasi KMnO<sub>4</sub> yang digunakan. Kondisi pH dan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> pada sintesis nanopartikel MnO<sub>2</sub> sangat mempengaruhi kristalinitas yang terbentuk. Penelitian yang dilakukan oleh Putri dan Nurhidayanti (2017), telah berhasil mensintesis MnO<sub>2</sub> dari KMnO<sub>4</sub> pada suasana basa dan asam. Hasil yang didapatkan pada suasana asam cenderung memiliki derajat kristalinitas rendah, sedangkan pada suasana basa cenderung *amorf* dengan luas permukaan yang lebih luas dibandingkan suasana asam. Penelitian yang dilakukan oleh Fitriani (2017), mensintesis nanopartikel MnO<sub>2</sub>/karbon aktif dengan memvariasikan konsentrasi

KMnO<sub>4</sub> diperoleh hasil semakin tinggi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> yang digunakan maka semakin banyak MnO<sub>2</sub> yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan penelitian tentang pengaruh pH dan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> terhadap karakteristik komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub> hasil reaksi KMnO<sub>4</sub> dan karbon tempurung kemiri teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, untuk mengetahui kondisi pH optimum dan bagaimana pengaruh konsentrasi terhadap proses pembentukan komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub>. Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) dan titrasi Boehm untuk analisis gugus fungsi, *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui keberadaan MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon aktif dan ukuran partikelnya, dan UV-Vis untuk mengetahui keberadaan MnO<sub>2</sub> yang kemungkinan besar terdispersi dalam larutan membentuk sistem koloid.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap sifat kimia karbon aktif tempurung kemiri ?
2. Bagaimana pengaruh pH dan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> terhadap proses reduksi pembentukan komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub> ?
3. Bagaimana karakteristik komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub> hasil reduksi dari KMnO<sub>4</sub> oleh karbon aktif tempurung kemiri ?

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah mensintesis komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub> hasil reaksi KMnO<sub>4</sub> dan karbon tempurung kemiri teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan menentukan pH dan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> optimum dalam proses reduksi pembuatan komposit nanopartikel MnO<sub>2</sub>.

### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menentukan pengaruh aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  terhadap sifat kimia karbon aktif tempurung kemiri.
2. menentukan pengaruh pH dan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  terhadap proses reduksi pembentukan komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$ .
3. menganalisis karakteristik komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  hasil reduksi dari  $\text{KMnO}_4$  oleh karbon aktif tempurung kemiri.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pembuatan komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  dan memberikan data mengenai pengaruh pH dan konsentrasi terhadap proses pembentukan komposit nanopartikel  $\text{MnO}_2$  serta pengaruh aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  terhadap sifat kimia karbon aktif tempurung kemiri.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nanopartikel**

Semakin berkembangnya zaman dan teknologi saat ini mengakibatkan kebutuhan akan penelitian dan pengembangan dalam segala bidang semakin meningkat pesat, terutama dalam bidang material. Hal yang mendasarkan kemajuan teknologi ini adalah semakin dibutuhkannya material baru guna menunjang bidang industri yang lain. Material yang berpotensi dikembangkan ialah nanopartikel. Nanopartikel didefinisikan sebagai partikel yang berukuran 1-100 nm. Nanopartikel menjadi kajian yang baik, karena nanopartikel mempunyai sifat-sifat yang benar-benar baru atau lebih baik berdasarkan karakteristik spesifik (ukuran, morfologi, fasa) jika dibandingkan dengan partikel bulk yang lebih besar (Ariningsih, 2016).

Nanopartikel merupakan bagian dari nanoteknologi yang paling banyak dikembangkan. Saat ini, nanopartikel menjadi penelitian yang sangat berkembang dengan pengaplikasiannya yang luas baik dalam bidang elektronik, lingkungan, dan biomedis. Penelitian nanopartikel dari logam merupakan salah satu jenis nanopartikel yang paling banyak dikembangkan. Berdasarkan jumlah logam penyusunnya, nanopartikel dapat dibedakan menjadi nanopartikel bimetal (tersusun atas dua logam), nanopartikel trimetal (tersusun dari tiga logam), dan nanopartikel multi metal (tersusun lebih dari tiga logam). Nanopartikel pada umumnya memiliki sifat yang berbeda tergantung dari ukurannya. Berbagai sifat nanopartikel tersebut dapat dimodifikasi melalui pengontrolan ukuran partikel, komposisi kimia, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel (Prasetiowati dkk., 2018).

Hampir semua material dapat dibuat dalam bentuk nanokristal dan nanopartikel, untuk menghasilkan sifat lebih unggul, yang bergantung pada pemrosesan, manipulasi dan komposisinya (wianto dkk., 2010). Kenyataan bahwa atom dan molekul yang terdapat dalam material yang berskala nano dapat bekerja secara terpisah yang menarik perhatian berbagai disiplin ilmu lain seperti kimia, biologi, fisika, elektronik, ilmu material, dan teknik untuk bergabung dan memberikan kontribusi untuk mempelajari dan mengembangkan berbagai aplikasi nanomaterial. Menurut Pal dkk. (2011), berikut beberapa contoh penerapan teknologi nano dalam berbagai bidang:

1. Nanomedisinal, contohnya *nano drugs/delivery drug* (suatu cara untuk mengirim obat-obatan ke dalam bagian tubuh yang sakit secara efektif dan efisien), peralatan medis, dan rekayasa jaringan.
2. Militer dan energi, contohnya biosensor, senjata, dan perbaikan sensorik.
3. Produksi dan penyimpanan energi, contohnya *Hydrogen fuell cell*, elektroda superkapasitor.
4. Ilmu bahan, contohnya pengembangan material yang lebih ringan dan lebih kuat menggunakan komposit.
5. Makanan, air, dan lingkungan, contohnya filter pemurnian air, udara, dan bahan bakar, *remedy methods* (pengembangan metode-metode perbaikan dalam bidang-bidang tersebut)
6. Peralatan, contohnya *tunneling microscopy*.

### **2.3 Karbon Aktif**

Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan dengan zat aktivator sehingga pori-porinya terbuka. Karbon aktif berbentuk amorf disusun oleh atom-atom karbon yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang heksagonal.



Hidrokarbon yang hilang pada permukaan tersebut maka permukaan karbon menjadi lebih luas (Surest dkk., 2008). Ikatan yang terbentuk pada karbon aktif akan memiliki luas permukaan berkisar antara 300 m<sup>2</sup>/g hingga 3500 m<sup>2</sup>/g. Ukuran dari luas permukaan karbon aktif berkaitan dengan struktur pori karbon aktif. Selama ini di pasaran lebih dikenal karbon aktif dari tempurung kelapa, namun sebenarnya karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan organik maupun non organik, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon (C), seperti sekam padi, ampas tebu, tongkol jagung, dan tempurung kemiri (Tarayana, 2002).

Karbon aktif merupakan material berpori dengan kandungan karbon 87 % - 97 % dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur, dan material lain. (Austin, 2006). Karbon aktif memiliki bentuk karbon mikrokristalin dan *nongraphitic*. Analisis sinar-X dari karbon aktif menunjukkan struktur yang jauh lebih teratur daripada grafit, hanya memiliki beberapa lapis kristalit dengan ketebalan kurang dari 10 nm (Smisek dan Cerny, 1970). Karbon aktif dapat dibedakan dari karbon biasa berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan pada karbon masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang menghambat keaktifannya, sedangkan pada karbon aktif permukaannya relatif telah bebas dari deposit dan mampu mengadsorpsi karena permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka (Lempang dkk., 2013).

Karbon berpori potensial untuk digunakan sebagai material elektroda superkapasitor karena memiliki potensi kerapatan energi yang tinggi, aksesibilitas pori yang baik, dan biaya pembuatan yang relatif murah. Untuk meningkatkan kapasitas energi dari superkapasitor dapat dilakukan dengan menyiapkan material karbon berpori yang memiliki fraksi mesopori dan luas permukaan yang tinggi. Karbon berpori dapat dibuat dengan cara karbonisasi bahan alami seperti

batu bara, tempurung kelapa, tongkol jagung, kayu, bambu, limbah kertas. Sebab itu, banyak penelitian yang menggunakan bahan sintetis memanipulasi struktur pori dengan penggunaan zat tertentu agar diperoleh karbon berpori yang berkualitas yang nantinya digunakan sebagai elektroda material superkapasitor. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, pori dibagi menjadi 3 jenis yaitu mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm) dan makropori (>50 nm) (Ariyanto dkk., 2012).

Industri pembuatan karbon aktif di Indonesia telah mengalami kemajuan yang cukup pesat. Hal tersebut disebabkan oleh semakin meningkatnya permintaan pasar, baik dalam negeri maupun untuk diekspor ke luar negeri. Peningkatan kebutuhan akan karbon aktif ini diakibatkan oleh semakin banyaknya aplikasi karbon aktif untuk industri dan berbagai peralatan bantu manusia. Karbon aktif dapat dipergunakan untuk berbagai industri, antara lain yaitu industri obat-obatan, makanan, minuman, pengolahan air (penjernihan air), dan lain-lain. Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi, dan kimia (Sulaiman dkk., 2017).

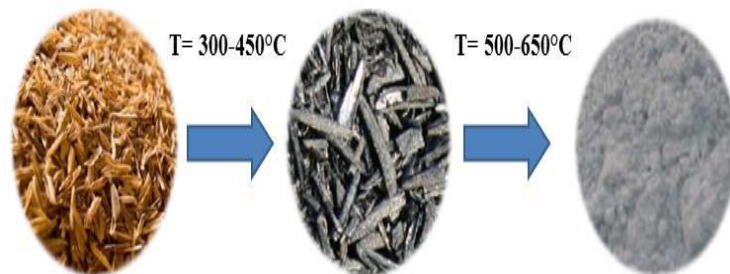
Dewasa ini, proses sintesis partikel karbon dengan ukuran rentang 0,10 – 1  $\mu\text{m}$  dari berbagai sumber karbon telah banyak dilakukan. Beberapa sumber karbon yang banyak digunakan oleh para peneliti diantaranya gula, glukosa, siklodekstrin, fruktosa, selulosa, sukrosa, amilopektin, tepung, molekul organik, dan limbah biomassa (monosakarida, heksosa, dan pentosa) yang memiliki kelimpahan tinggi, ramah lingkungan, dan kualitas produk yang baik. Pada dasarnya, sintesis partikel karbon dapat dilakukan dengan cara mendegradasi sumber karbon pada suhu tinggi. Secara umum, sintesis partikel karbon aktif dapat dilakukan dengan empat tahap, yaitu: pemilihan bahan dasar, dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi (Rahman dkk., 2015).

### 1. Pemilihan bahan dasar

Berbagai macam bahan dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan karbon aktif selama bahan tersebut mengandung unsur karbon. Selain mengandung unsur karbon, kriteria lain yang harus dimiliki bahan dasar karbon aktif yaitu unsur anorganik yang rendah, memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi (Marsh dan Reinoso, 2006).

### 2. Karbonisasi

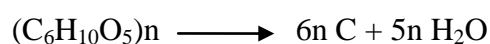
Karbonisasi biasa disebut sebagai pirolisis yang memecah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan organik menggunakan alat pembakaran. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003). Proses sintesis karbon dengan metode karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Sintesis karbon dengan metode karbonisasi (Rahman dkk., 2015).

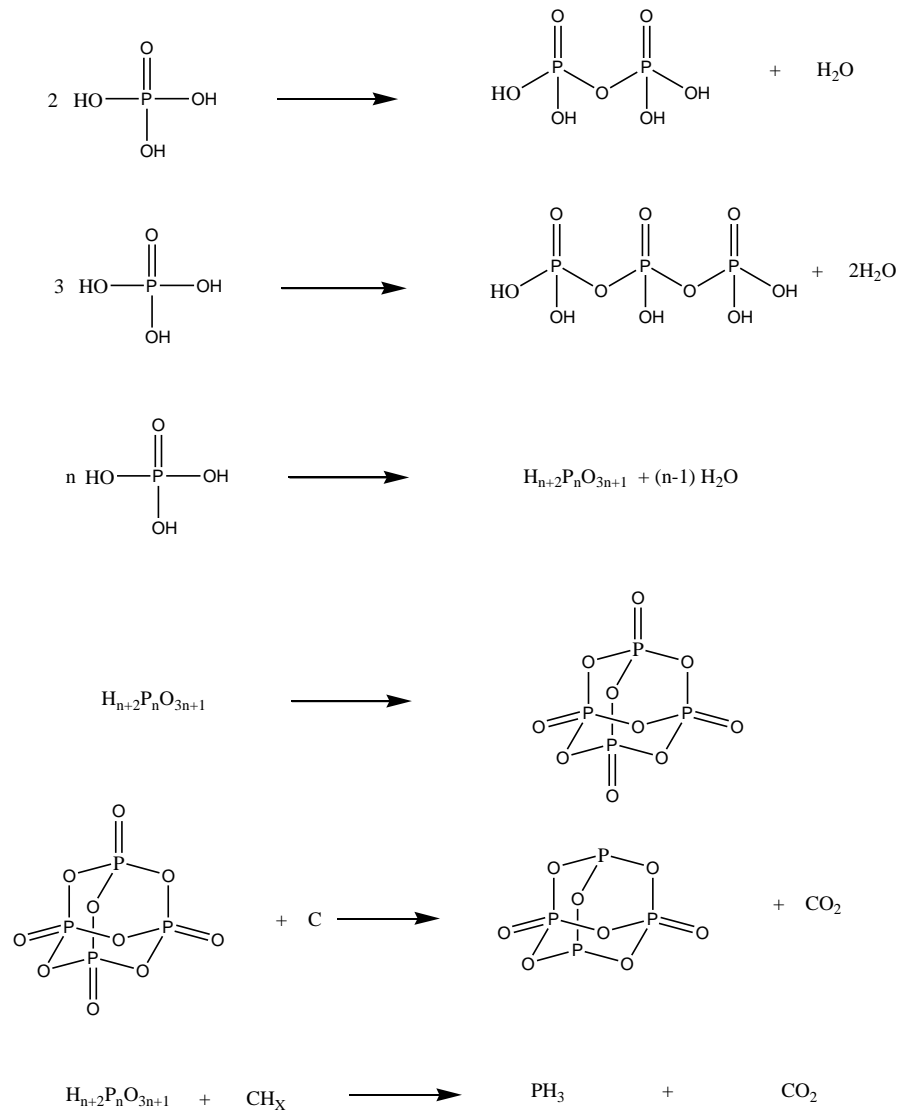
### 3. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses yang bertujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi, pada proses ini terjadi penghilangan kadar air dalam bahan dasar. Dehidrasi dapat dilakukan dengan cara menjemur bahan dasar dibawah sinar matahari langsung atau memanaskannya dalam oven (Luziana, 2018). Proses Sintesis karbon dengan metode dehidrasi dapat dilihat pada reaksi berikut.



#### 4. Aktivasi

Aktivasi merupakan proses yang bertujuan untuk memperbesar pori yang telah dibersihkan dari dari zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon aktif. Proses ini akan memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon aktif akan mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia yaitu luas permukaannya bertambah besar (Budiono dkk, 2010). Mekanisme aktivasi karbon dengan larutan  $H_3PO_4$  bisa dilihat pada Gambar 2 (Li dkk., 2012).



**Gambar 2.** Mekanisme pengaktifan karbon dengan  $H_3PO_4$  (Li dkk., 2012).

Aktivasi secara kimia pada prinsipnya adalah penambahan senyawa kimia tertentu pada karbon aktif sebelum dipanaskan contohnya seperti  $H_3PO_4$ ,  $ZnCl_2$ ,  $KOH$ ,  $H_2SO_4$ , dan  $NaOH$  (Meisrilestari dkk., 2013). Pada penelitian ini senyawa kimia yang digunakan sebagai bahan aktivator yaitu  $H_3PO_4$ . Aktivator  $H_3PO_4$  dipilih pada penelitian ini karena senyawa ini memiliki stabilitas termal dan karakter kovalen yang tinggi, selain itu aktivasi karbon dengan aktivator  $H_3PO_4$  akan menyebabkan pori-pori permukaan karbon akan menjadi lebih banyak dan teratur (Ezo dkk., 2021).

Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan harus memenuhi SNI, kecuali kadar abu. Tingkat keaktifan karbon cukup tinggi, hal ini terlihat dari daya serap iodnya sebesar 28,9 % (Husin, 2003). Persyaratan karbon aktif menurut SNI dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** 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 tak 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 benzene (%)	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

#### 2.4 Kemiri Sebagai Sumber Karbon Aktif

*Aleurites moluccana* (L.) Willd., atau lebih dikenal dengan nama kemiri, merupakan salah satu pohon serbaguna yang dibudidayakan secara luas. Kemiri

telah lama ditanam di Indonesia, baik untuk tujuan komersial untuk menunjang kehidupan masyarakat sehari-hari maupun subsisten (untuk kebutuhan sendiri). Biji kemiri dapat digunakan sebagai bahan media penerangan, masakan dan obat-obatan, sedangkan batangnya dapat digunakan untuk kayu (Krisnawati dkk., 2011). Tanaman kemiri memiliki kelebihan yaitu tidak banyak membutuhkan syarat tumbuh dan dapat tumbuh di daerah beriklim kering dan beriklim basah. Tanaman kemiri yang pada awalnya tumbuh secara alami kemudian ditanam oleh masyarakat khususnya di daerah pedesaan (Rosman dan Djauhariya, 2008). Menurut Krisnawati dkk (2011), tanaman kemiri dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

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

Karbon aktif dapat dibuat dari tempurung kemiri yang ada saat ini masih berupa limbah. Tempurung kemiri memang merupakan limbah organik yang dapat diuraikan namun dengan teksturnya yang cukup keras membutuhkan waktu yang lama untuk menguraikannya secara alamiah. Berdasarkan hal tersebut, maka tempurung kemiri dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Tempurung kemiri dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Tempurung kemiri (Krisnawati dkk., 2011).

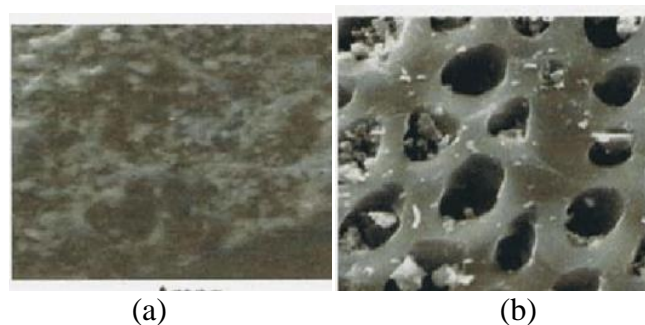
Pengolahan tempurung kemiri sebagai karbon aktif adalah salah satu cara mudah untuk menambah nilai ekonomis dan menghasilkan produk yang aman dan ramah lingkungan. Karbon aktif dibuat dengan proses karbonisasi suhu tinggi di dalam furnace. Karbon hasil karbonisasi tersebut kemudian diaktifkan dengan asam kuat. Kualitas karbon aktif tergantung pada proses karbonisasi dan proses aktivasi (Sulaiman dkk., 2017). Komponen kimia tempurung kemiri dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Komponen kimia tempurung kemiri (Lempang dkk., 2011).

No.	Komponen	Kadar (%)
1	Haloselulosa	49,22
2	Pentosa	14,55
3	Lignin	54,46
4	Ekstraktif:	
	- Kelarutan dalam air dingin	1,96
	- Kelarutan dalam air panas	6,18
	- Kelarutan dalam alkohol-benzen 1:2	2,69
5	Kelarutan dalam NaOH 1%	17,14
	Abu	8,73

Tabel 2. Menunjukkan bahwa kandungan lignin dari tempurung kemiri lebih tinggi dari pada selulosa dan hemiselulosa. Lignin tersebut berperan sebagai penyusun utama dinding sel sehingga menyebabkan struktur tempurung kemiri menjadi kaku dan keras. Sifat struktur tersebut disebabkan karena selulosa dan

hemiselulosa pada tempurung kemiri berikatan dengan lignin sehingga menutupi terbentuknya pori-pori pada tempurung (Lempang dkk., 2009). Oleh karena itu untuk membuat karbon aktif diperlukan suatu perlakuan yang dapat memutuskan ikatan lignin dengan selulosa dan hemiselulosa yaitu dengan perendaman dengan senyawa kimia sebagai aktivator. Pemisahan lignin dengan selulosa dan hemiselulosa dapat membentuk pori-pori yang sudah bersih dari zat pengotor sehingga dapat digunakan sebagai karbon aktif (Handayani, 2010). Perbandingan morfologi permukaan karbon dengan karbon aktif tempurung kemiri dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Mikrofotogram menggunakan SEM pada permukaan karbon (a) dan (b) karbon aktif tempurung kemiri Perbesaran 5000x (Lempang dkk., 2013).

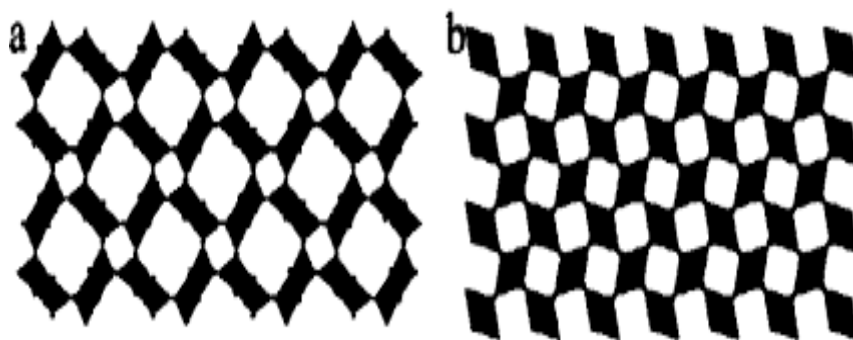
### 2.3 Nanopartikel $MnO_2/AC$

Mangan (IV) oksida adalah senyawa anorganik dengan rumus  $MnO_2$ . Bentuknya padatan warna coklat atau kehitaman ini terjadi secara alami sebagai mineral *pyrolusite*, yang merupakan bijih utama. Mangan oksida ( $MnO_2$ ) adalah representasi terbaik dari kelas material yang mengandung banyak unsur kimia dan sangat menarik karena kaya akan ikatan kovalen Mn serta berbagai polimorfi struktur kristal, seperti  $\beta$ -,  $\alpha$ -,  $\delta$ -, dan  $\gamma$ -  $MnO_2$  (Feng, 2014).

Setiap material oksida mangan ini terdiri atas suatu struktur tunnel yang banyak digunakan sebagai katalis yang selektif, penukar ion, dan penukar molekul



(Saridewi dkk., 2015). Diantara semua TMO (*Transition metal Oxides*), seperti  $\text{IrO}_2$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni(OH)}_2$ ,  $\text{CoO}_x$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , dan  $\text{MoO}_2$ .  $\alpha\text{-MnO}_2$  adalah salah satu dari bahan yang paling menarik dan disukai untuk katalitik, magnetis dan kapasitor elektrokimia karena biayanya yang rendah, berlimpah di bumi, tidak beracun, jangkauan potensial yang luas dan lingkungan kompatibilitas. Kinerja elektrokimia  $\alpha\text{-MnO}_2$  berdasarkan ukuran kristal, sifat fisik, struktur kristal dan karakteristik morfologi. Sifat elektrokatalis dari  $\text{MnO}_2$  salah satunya tergantung oleh struktur kristal dan nilai teoretis dari kapasitansi spesifik untuk aplikasi penyimpanan energi nanopartikel mangan dioksida adalah 1370 F/g (Sivakumar dan Prabu, 2021). Menurut Cao dkk. (2012), Kemampuan elektrokatalis dari  $\text{MnO}_2$  dengan struktur polimorfi berbeda memiliki kemampuan semakin meningkat dari  $\beta\text{-} < \lambda\text{-} < \gamma\text{-} < \alpha$ .  $\alpha\text{-MnO}_2$  membentuk terowongan (2x2) dan (1x1) dengan ukuran sebesar 4,6 Å. Oleh karena itu,  $\alpha\text{-MnO}_2$  merupakan struktur kristalinitas yang sangat berpotensi menghasilkan densitas arus tertinggi dibandingkan struktur lainnya. Sebaliknya, kristalinitas amorf akan menyebabkan partikelnya tersusun atas beragam terowongan yang menciptakan hambatan yang tinggi dan menyulitkan difusi kation anion (Huang dkk, 2015). Struktur dari  $\alpha\text{-MnO}_2$  dan  $\beta\text{-MnO}_2$  yang tersusun atas rantai ganda  $\text{MnO}_6$  oktahedral dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** (a) Struktur dari  $\alpha\text{-MnO}_2$  tersusun atas rantai ganda  $\text{MnO}_6$  oktahedral. (b)  $\beta\text{-MnO}_2$  tersusun atas rantai tunggal  $\text{MnO}_6$  oktahedral (Permana, 2016).

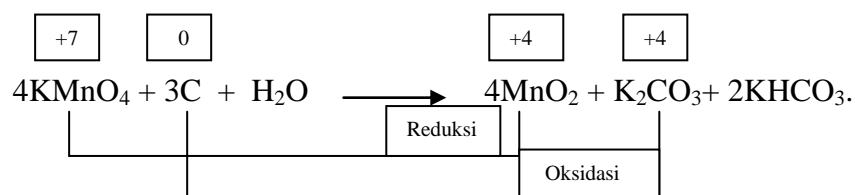
Sifat elektrokimia dan pengisian mekanisme Superkapasitor Elektrokimia (ES) sangat tergantung pada jenis bahan elektroda yang digunakan. Umumnya, bahan elektroda untuk aplikasi ES diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu: (1) bahan karbon dengan permukaan spesifik yang luas, misalnya: karbon aktif, nanotube karbon dan graphene, (2) polimer konduktif, misalnya: polipirol, polianilin dan polythiophene dan (3) oksida logam transisi seperti  $\text{RuO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{IrO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , dan  $\text{MoO}_2$  (Nursiti dkk., 2018).

Ruthenium dioksida ( $\text{RuO}_2$ ) memiliki kapasitansi spesifik (SC) yang sangat tinggi, namun harganya mahal, kelimpahan rendah dan toksisitas yang membatasi komersialisasi dari ES. Sedangkan  $\text{IrO}_2$  atau elektroda  $\text{CoO}_x$ , memiliki nilai kapasitansi yang menarik namun biayanya tinggi. Di sisi lain,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni(OH)}_2$ ,  $\text{MnO}_2$  membutuhkan biaya yang lebih rendah, namun  $\text{NiO}$  dan  $\text{Ni(OH)}_2$  tidak dapat digunakan pada tegangan diatas 0,6 V (Beguin dkk., 2014). Oleh karena itu, oksida mangan adalah elektroda yang tepat untuk desain superkapasitor karena mudah didapat, biaya rendah, toksisitas rendah dan mempunyai rentang tegangan yang lebar (Nursiti dkk., 2018).  $\text{MnO}_2$  memiliki fitur konduktivitas elektrik yang rendah. Oleh karena itu, untuk memperbaiki konduktivitas elektrik  $\alpha\text{-MnO}_2$  dikompositkan dengan serbuk karbon (Putrid an Nurhidayanti, 2017).

Nanopartikel  $\text{MnO}_2$  dapat dideposisi secara langsung melalui reduksi  $\text{KMnO}_4$  menggunakan karbon aktif itu sendiri sebagai reduktor. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan elektroda kapasitor, baik yang terbuat dari polimer atau karbon ternyata memberikan efek pseudokapasitif yang cukup baik (Zhang dkk., 2012; Meng dkk., 2013).

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  didasarkan pada reaksi yang terjadi antara karbon dengan  $\text{KMnO}_4$ . Pada reaksi ini terjadi reduksi  $\text{KMnO}_4$  oleh karbon menjadi

MnO<sub>2</sub> (Zhang dkk., 2012). MnO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebagian akan terdeposisi pada permukaan karbon aktif yang ditandai dengan perubahan warna karbon dari hitam menjadi hitam kecoklatan dan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid yang ditandai dengan perubahan warna larutan dari ungu (warna KMnO<sub>4</sub>) menjadi kuning hingga kuning kecoklatan (Moon dkk., 2014; Jaganyi dkk., 2013). Menurut Zhang dkk., (2012) mekanisme pembentukan MnO<sub>2</sub> dapat diasumsikan sebagai berikut.



## 2.6 Karakterisasi Nanopartikel (XRD, UV-Vis, dan FTIR)

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. Sinar yang dibiaskan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Puncak yang didapat dari data pengukuran akan dicocokkan dengan standar JCPDS (Irvina dkk., 2009).

Karakterisasi pada karbon aktif menggunakan XRD untuk mengetahui keberadaan MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon aktif serta ukuran partikelnya. Ukuran kristal (nm) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) (Sandi dan Astuti, 2014):

$$D = \frac{K \lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

Dimana :

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

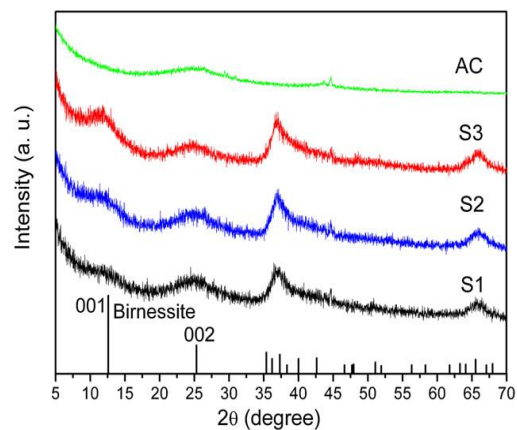
B = lebar setengah puncak maksimum (rad);

K = Konstanta material = 0,9;

$\theta$  = sudut difraksi;

D = ukuran kristal (nm).

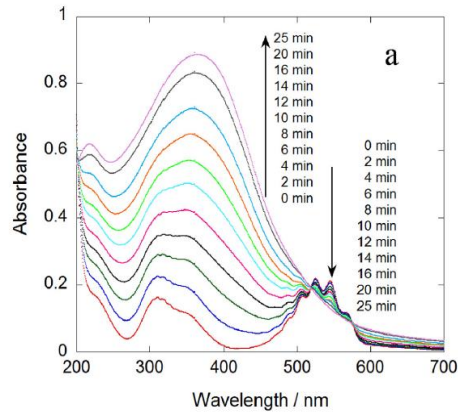
Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi MnO<sub>2</sub> menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$  20,81° yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif dan kandungan silikanya. Sedangkan sampel karbon setelah deposisi MnO<sub>2</sub> terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar 37° dan 65° yang mengindikasikan adanya MnO<sub>2</sub> (Zhang dkk., 2012). Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pola XRD Nanokomposit AC dan MnO<sub>2</sub>/AC (Zhang dkk., 2012).

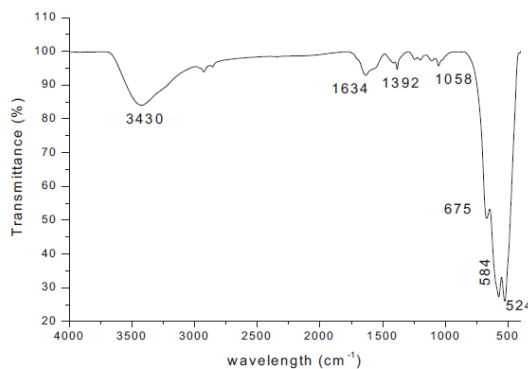
Karakterisasi nanopartikel menggunakan instrument UV-Vis diperlukan untuk mengkonfirmasi terbentuknya nanopartikel yang kemungkinan terdispersi dalam larutan, stabilitas nanopartikel, memprediksi ukuran dan bentuk serta jumlah nanopartikel berdasarkan nilai absorbansi dan panjang gelombang maksimum sampel yang diperoleh (Das dkk., 2009). Sebelum terjadi reduksi menjadi MnO<sub>2</sub> masih berupa larutan KMnO<sub>4</sub> dengan karakteristik serapan pada panjang gelombang 525 nm, 545 nm, 317 nm, dan 310 nm. Setelah terjadi reduksi

menjadi  $\text{MnO}_2$  puncak-puncak khas  $\text{KMnO}_4$  baik pada panjang gelombang 525 nm dan 310 nm tidak kelihatan lagi pada kurva UV-Vis. Gambar spektrum hasil UV-Vis dari larutan  $\text{MnO}_4^-$  dan filtrat hasil reduksi  $\text{KMnO}_4$  dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Spektrum serapan dari larutan  $\text{MnO}_4^-$  dan filtrat hasil reduksi  $\text{KMnO}_4$  (Okitsu dkk., 2016).

Analisis spektroskopi inframerah bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi logam pada sintesis nanopartikel. Spektrum Fourier Transmission Inframerah (FT-IR) dari nanopartikel  $\text{MnO}_2$ , pita serapan oksida logam biasanya berada di bawah  $1000 \text{ cm}^{-1}$  yang menghasilkan getaran antar atom. Puncak tajam serapan  $524 \text{ cm}^{-1}$ ,  $584 \text{ cm}^{-1}$  dan  $675 \text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh mode getaran ikatan Mn-O. Spektrum FTIR dari nanopartikel  $\text{MnO}_2/\text{AC}$  dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Spektrum FTIR nanopartikel  $\text{MnO}_2/\text{AC}$  (Sivakumar dan Prabu, 2021).