

**PENGARUH KONSENTRASI  $\text{TiO}_2$  TERHADAP PERMITIVITAS  
*GREEN-SYNTHESIZED*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**ONESIMUS PUTRY PHILIA SARAGIH  
NPM 2117041068**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## ABSTRAK

### PENGARUH KONSENTRASI $\text{TiO}_2$ TERHADAP PERMITIVITAS *GREEN-SYNTHESIZED* $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$

Oleh

**Onesimus Putry Philia Saragih**

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi  $\text{TiO}_2$  terhadap permitivitas  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan metode *green-synthesized* dengan ekstrak *Moringa oleifera* (MO) sebagai agen reduktor alami. Variasi rasio  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap  $\text{TiO}_2$  (1:0 ; 1:3 ; 1:5 dan 1:7) digunakan untuk mengevaluasi perubahan sifat dielektrik material yang dihasilkan. Karakterisasi dilakukan pengukuran permitivitas dielektrik riil dan imajiner, *loss tangent*, serta impedansi dalam rentang frekuensi 10 kHz hingga 900 kHz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  berkontribusi terhadap peningkatan permitivitas dielektrik pada frekuensi rendah, sedangkan pada frekuensi tinggi nilainya cenderung stabil. Selain itu, nilai impedansi mengalami penurunan pada frekuensi rendah dan meningkat kembali pada frekuensi tinggi, yang mengindikasikan adanya interaksi antara  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{TiO}_2$ .

**Kata Kunci:**  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ , *green-synthesis*, permitivitas dielektrik, impedansi, *loss tangent*.

## ABSTRACT

### THE EFFECT $\text{TiO}_2$ CONCENTRATION ON THE PERMITTIVITY OF *GREEN-SYNTHESIZED* $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$

By

**Onesimus Putry Philia Saragih**

*A study has been conducted on the effect of  $\text{TiO}_2$  concentration on the permittivity of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  synthesized using the green-synthesis method with Moringa Oleifera (MO) extract as a natural reducing agent. The  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  to  $\text{TiO}_2$  ratio variations (1:0 ; 1:3 ; 1:5 dan 1:7) were used to evaluate changes in the dielectric properties of the resulting material. Characterization was carried out by measuring real and imaginary dielectric permittivity, loss tangent, and impedance within the frequency range of 10 kHz to 900 kHz. The results showed that an increase in  $\text{TiO}_2$  concentration contributed to the enhancement of dielectric permittivity at low frequencies, while at high frequencies, its value tended to remain stable. Additionally, the impedance values decreased at low frequencies and increased again at high frequencies, indicating an interaction between  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{TiO}_2$*

**Keywords:**  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ , green-synthesis, dielectric permittivity, impedance, loss tangent.

**PENGARUH KONSENTRASI  $\text{TiO}_2$  TERHADAP PERMITIVITAS *GREEN-SYNTHESIZED*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$**

Oleh

**ONESIMUS PUTRY PHILI SARAGIH**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

**SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Laporan : Pengaruh Konsentrasi  $\text{TiO}_2$  terhadap Permittivitas Dielektrik pada *Green-Synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .

Nama Mahasiswa : Onesimus Putry Philia Saragih

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041068

Jurusan : Fisika

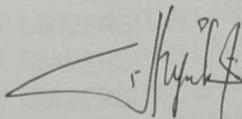
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pegetahuan Alam

### MENYETUJUI

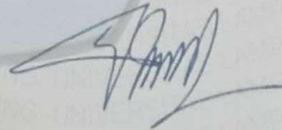
#### 1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

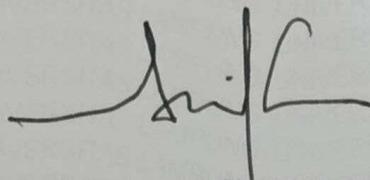


**Suprihatin, S.Si., M.Si.**  
NIP.197304141997022001



**Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng.**  
NIP.197503151999031003

#### 2. Ketua Jurusan Fisika

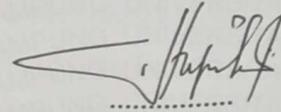


**Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**  
NIP.197109092000121001

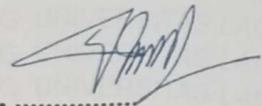
**MENGESAHKAN**

1 Tim Penguji

Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**

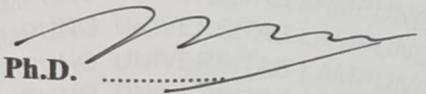


Sekretaris : **Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Si., M.Eng.** .....



Penguji Bukan

Pembimbing : **Prof. Drs. Posman Manurung, B.Sc., M.Si., Ph.D.** .....



2. Dekan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr.Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 11 Agustus 2025

## PERNYATAAN

Nama : Onesimus Putry Philia Saragih  
NPM : 2117041068  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul "**Pengaruh Konsentrasi  $\text{TiO}_2$  Terhadap Permittivitas *Green-Synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$** " Adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika Sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi saya digunakan dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025

Penulis,



**Onesimus Putry Philia Saragih**

NPM. 2117041068

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Onesimus Putry Philia Saragih, dilahirkan pada tanggal 03 November 2002 di Jakarta. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Holongman Saragih dan Ibu Susmiasthy Damanik, S.E. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Eka Santi Jatiasih pada tahun 2009, SD Negeri 096135 Pematangsiantar pada tahun 2015, SMP Negeri 1 Pematangsiantar 2018, SMA Negeri 3 Pematangsiantar pada tahun 2021.

Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis aktif di kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) periode 2021-2022 sebagai anggota bidang Sosmas dan 2022-2023 sebagai pengurus bidang Sosmas serta bertanggungjawab menjadi pengajar pada kegiatan Kelompok Belajar (KOPJAR). Selain itu penulis juga aktif di organisasi Korps Sukarela Palang Merah Indonesia (KSR PMI) periode 2021-2022 sebagai anggota bidang PM, 2022-2023 sebagai pengurus bidang PM. Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, dengan judul "Karakterisasi *Green Synthesized Nanoparticles Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) menggunakan Kajian Dielektrik Materials di *Research Group of Magnetic and Nanostructure UGM*". Penulis juga mengikuti program pengabdian masyarakat dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2024 di Desa Lehan, Bumi Agung, Lampung Timur.

Selanjutnya, penulis berdedikasi terhadap Jurusan Fisika sebagai asisten Praktikum Fisika Eksperimen untuk Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Unila tahun 2024. Penulis melakukan penelitian bidang material sebagai topik skripsi dengan judul "Pengaruh Konsentrasi  $\text{TiO}_2$  terhadap Permittivitas Dielektrik pada *Green-Synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ ". Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

MOTTO

*"Pray without ceasing, give thanks in all circumstances; for this is the will of God in Christ Jesus or you".*

*(1 Thessalonians 5:17-18)*

*"Hasil tidaklah penting, katakan pada dirimu sendiri bahwa kamu sudah bekerja keras dan berikanlah penghargaan pada dirimu sendiri atas usahamu hari ini".*

*– Park Ji-sung –*

*"Boru sasada itu harus kuat dan selalu ceria untuk menghadapi masa depan".*

*– Onesimus Putry Philia Saragih –*

## **PERSEMBAHAN**

### ***Soli Deo Gloria***

***Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yesus Kristus untuk berkat dan penyertaan-Nya, kupersembahkan karya ini untuk semua orang yang ku sayangi dan cintai***

### ***Bapak Holongman Saragih***

*Terimakasih atas kerja keras, do'a, dan semangat yang selalu Ayah tanamkan. Keteguhan serta kasih sayang Ayah menjadikan kekuatan dalam setiap langkahku”.*

### ***Ibu Susmiathy br Damanik***

*”Terimakasih atas cinta, do'a, dan ketulusan yang tiada batas. Ibu adalah sumber kehangatan dan inspirasi yang selalu menguatkan dalam setiap perjalanan”.*

### ***Adik Rizky Saragih dan Tommy Saragih***

*”Terimakasih telah menjadi sumber keceriaan dan semangat bagiku. Semoga keberhasilanku ini bisa menjadi inspirasi dan motivasi untuk meraih impian kalian”.*

*Almameterku Tercinta*

**”UNIVERSITAS LAMPUNG”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, yang telah memberikan berkat dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah serta skripsi yang berjudul **"Pengaruh Konsentrasi  $\text{TiO}_2$  terhadap Permittivitas Dielektrik pada *Green-Synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ ".** Tujuan penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si). Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung serta melatih berpikir cerdas dan kreatif dalam menuli sebuah karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025  
Penulis,

Onesimus Putry Philia Saragih

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih-Nya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Pengaruh Konsentrasi  $\text{TiO}_2$  terhadap Permittivitas Dielektrik pada *Green-Synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ ".** Penulis menyadari bahwa selama penulisan skripsi ini tentunya mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak yang telah mendukung, memberikan motivasi, dan membimbing penulis. Oleh karena itu, dengan penuh ketulusan dan kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya selama masa kuliah dan proses penyusunan skripsi.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, arahan serta saran dalam penulisan skripsi dan membantu selama proses penelitian.
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, B.Sc., M.Si., Ph.D. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
4. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu dan nasihat selama masa kuliah di Jurusan Fisika.
6. Keluarga besar "ES-CLUB" Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta terutama Mba Leni, Mba Mareta, Mba Friska dan Mba Shania yang telah membantu selama proses penelitian.

7. Andy, Melisa Sabitha, Juahenta Tarigan, Reynaldi, Maryam Aisyah Anastasia, Abang Gin Raja Saragih, Made Jaya Setiawan, Dita Aprida Sembiring, Eva Rani Putri Galingging, Rahmah Hazimah dan Dwy Marbun sebagai teman yang selalu ada bagi penulis.
8. Rekan-rekan "Cemungut Ea" yang senantiasa saling menyemangati dalam menyelesaikan skripsi.
9. Keluarga besar "UKM KSR PMI UNILA" sebagai wadah yang selalu menjadi tempat berbagi cerita, dukungan, dan kebersamaan yang luar biasa bagi penulis.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2021 yang saling menyemangati dalam menyelesaikan skripsi masing-masing.
11. Seluruh pihak yang telah yang telah ikut serta membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan Yesus Kristus senantiasa memberikan berkat dan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025  
Penulis,

Onesimus Putry Philia Saragih

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kelor ( <i>Moringa Oleifera</i> ).....	5
2.2 Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ) .....	6
2.3 Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	8
2.4 Dielektrik Material .....	9
2.5 Kapasitansi dan Tetapan Dielektrik .....	10
2.6 Green-Synthesized.....	11
2.7 <i>Loss Tangent</i> (tan $\delta$ ).....	12
2.8 Impedansi .....	13
2.9 Spektrokopi Impedansi.....	14

### III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	16
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	16
3.2.1 Alat Penelitian.....	16
3.2.2 Bahan Penelitian .....	16
3.3 Prosedur Penelitian .....	17
3.3.1 Proses Pembuatan MO .....	17
3.3.2 <i>Green-Synthesized</i> Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	18
3.3.3 Sintesis Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	19
3.4 Diagram Alir.....	20

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Permittivitas Dielektrik sebagai Fungsi Frekuensi .....	21
4.2 <i>Loss Tangent</i> ( $\tan \delta$ ) <i>Green-Synthesized</i> $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	24
4.3 Impedansi <i>Green-Synthesized</i> $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	25

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	27
5.2 Saran .....	27

DAFTAR PUSTAKA .....	28
----------------------	----

LAMPIRAN .....	32
----------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kelor ( <i>Moringa Oleifera</i> ).....	5
2. Fasa Rutile TiO <sub>2</sub> (COD: 9015662.cif) dibuat dengan aplikasi vesta .....	7
3. Fasa Anatase TiO <sub>2</sub> (COD: 7206075.cif) dibuat dengan aplikasi vesta .....	7
4. Fasa Brookite TiO <sub>2</sub> (COD: 9004139.cif) dibuat dengan aplikasi vesta .....	7
5. Dielektrik Material.....	9
6. Mekanisme Pembentukan Magnetit.....	10
7. Pembuatan Larutan MO .....	17
8. <i>Green-Synthesized</i> Nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	18
9. Diagram Alir Prosedur Percobaan .....	20
10. Grafik Nilai Permittivitas Dielektrik Riil pada Frekuensi 10-900 kHz. ....	21
11. Grafik Nilai Permittivitas Dielektrik Imajiner pada Frekuensi 10-900 kHz. ....	22
12. Grafik Nilai <i>Loss Tangent</i> pada <i>Green-Synthesized</i> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> . ....	24
13. Grafik Nilai Impedansi pada <i>Green-Synthesized</i> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> . ....	25

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Variasi konsentrasi antara Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan TiO <sub>2</sub> . .....	19
2. Nilai Permittivikasi Uji Dielektrik Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> . .....	24
3. Nilai Permittivikasi Dielektrik Riil Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> . .....	23
4. Hasil Pengukuran Nilai Loss Tangent Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> . .....	24
5. Hasil Pengukuran Nilai Impedansi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> . .....	26

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komponen elektronika merupakan bagian pendukung suatu rangkaian elektronika yang dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Komponen elektronika mempunyai bentuk atau jenis tersendiri yang terbagi dari komponen aktif dan komponen pasif. Salah satu contohnya adalah kapasitor yang merupakan komponen pasif untuk menyimpan muatan listrik sementara waktu. Kapasitor pada prinsipnya terdiri dari dua buah pelat konduktor yang berlawanan muatan yang dipisahkan oleh sebuah dielektrik material. Dielektrik merupakan jenis bahan isolator listrik yang dapat dikutubkan (*polarirized*) dengan cara menempatkan bahan dielektrik dalam medan listrik. Bahan dielektrik sangat penting dalam pembuatan kapasitor terutama kapasitor plat sejajar, karena dapat menghasilkan hasil yang lebih besar (Sukron *et al.*, 2015).

Magenetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) merupakan bahan yang saat ini banyak dikembangkan di berbagai bidang karena mempunyai sifat-sifat magnetit, optik dan katalitik yang unik.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, diantaranya: *Magnetic Drug Delivery System* (MDDS), *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), *Hyperthermia Therapy System* (HTS) dan pembuatan otot buatan (Ramanujan dan Lao, 2006).

*Green-Synthesized* merupakan metode sintesis ramah lingkungan atau metode yang memanfaatkan bahan alam mengandung senyawa fitokimia seperti antioksidan yang dapat mereduksi perak. Metode ini diperlukan karena pada nanopartikel anorganik sering menggunakan senyawa-senyawa berbahaya dalam proses fisika maupun kimia. Beberapa ekstrak tanaman digunakan dalam penelitian yang menggunakan metode *green-synthesized* adalah *Rhus Coriaria*

(Piro *et al.*, 2023) dan *Moringa oleifera* (MO) (Mubarroh *et al.*, 2022). *Titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) dikenal sebagai bahan semikonduktor yang sangat baik dalam aktivitas fotokatalitik dan memiliki potensi besar untuk aplikasi seperti pemurnian air, dekomposisi gas asam karbonat dan pembangkitan gas hidrogen. Ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  sangat berpengaruh terhadap kinerja bahan sehingga diperlukan sintesis yang tepat (Evtushenko *et al.*, 2015). Penggabungan nanopartikel magnetik ke dalam fotokatalis berbasis nanopartikel  $\text{TiO}_2$  telah menjadi solusi yang efektif. Sifat nanopartikel magnetik memfasilitasi pemisahan fotokatalis dan air. Kombinasi antara nanopartikel magnetik dan semikonduktor membuat fotokatalis dapat teraglomerasi dan teroksidasi di dalam larutan serta dapat meningkatkan daya tahan katalis sehingga pekerjaan menjadi lebih efektif dan efisien. Namun jika dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$ , nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  jauh sensitif dan tidak stabil. Untuk mengatasi masalah tersebut Tiejun (2013) beserta rekan-rekannya berhasil membuat nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  atau  $\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan metode kopresipitasi, dimana magnetik dilapisi dengan  $\text{TiO}_2$  fotoaktif (Mufti *et al.*, 2016).

Pada penelitian Marsel, (2023) mengeksplorasi struktur, morfologi, sifat magnetik, sifat optik dan aktivitas fotokatalik dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  menggunakan ekstrak MO dengan perbandingan: 1:0 ; 1:1 ; 1:3 ; 1:5 dan 1:7 pada uji aktivitas Nanopartikel *core-shell*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  berhasil disintesis menggunakan metode *green-synthesized* dengan ekstrak daun MO. Hasil analisis *Transmission Electron Microscopy* (TEM), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki struktur *cubic spinel inverse* dengan ukuran kristalit sekitar 5,1-5,6 nm, sedangkan  $\text{TiO}_2$  memiliki struktur tetragonal dengan ukuran kristalit sekitar 4,8-6,7 nm. Nanopartikel yang dihasilkan memiliki bentuk hampir bulat, sedikit terdispersi, dan menunjukkan sifat feromagnetik dengan nilai magnetisasi saturasi 11,15-30,38 emu/g. Spektrum UV-Vis menunjukkan pergeseran absorbansi ke merah dan peningkatan energi celah dengan peningkatan konsentrasi  $\text{TiO}_2$ . Nanopartikel ini efektif dalam mendegradasi dengan efisiensi 99,9% pada 20 menit pertama dan dapat digunakan kembali hingga 4 kali dengan efisiensi degradasi di atas 70%, meskipun efisiensi menurun dengan siklus penggunaan.

Dalam penelitian ini, dilakukan sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  menggunakan metode kopresipitasi dengan pendekatan *green-synthesized*. Proses sintesis ini memanfaatkan ekstrak MO sebagai agen reduktor alami, yang berperan dalam pembentukan struktur nanokomposit. Variasi komposisi dalam sintesis ini terdiri dari perbandingan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap  $\text{TiO}_2$ , yaitu 1:0, 1:3, 1:5, dan 1:7. Perbedaan rasio ini digunakan sebagai variabel bebas, yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat dielektrik material yang dihasilkan. Untuk mengkarakterisasi material hasil sintesis, dilakukan pengujian sifat dielektrik dalam rentang frekuensi 10 kHz hingga 900 kHz. Pengujian ini mencakup analisis terhadap permitivitas dielektrik riil ( $\epsilon_r'$ ), permitivitas dielektrik imajiner ( $\epsilon_r''$ ), rugi tangent, dan impedansi. Tujuan dari analisis adalah untuk memahami pengaruh variasi komposisi respons material terhadap medan listrik, khususnya dalam konteks polarisasi dan proses bipolar. Hal ini berkaitan erat dengan mekanisme transport muatan dalam material.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah: bagaimana pengaruh konsentrasi  $\text{TiO}_2$  dan frekuensi modulasi terhadap permitivitas kompleks (riil dan imajiner), rugi tangen, dan impedansi pada *green-synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut: mengetahui pengaruh variasi konsentrasi  $\text{TiO}_2$  dan frekuensi modulasi terhadap permitivitas kompleks (riil dan imajiner), rugi tangen, dan impedansi pada *green-synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian sebagai berikut:

1. Kajian dielektrik dilakukan pada rentang frekuensi 10-900 kHz menggunakan spektroskopi impedansi terkomputerisasi.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian sebagai berikut:

1. Memberi informasi pengaruh enkapulasi konsentrasi  $\text{TiO}_2$  terhadap sifat dielektrik pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  hasil *green-synthesized* menggunakan MO.
2. Menjadi rujukan dan bahan pertimbangan untuk penelitian mengenai optimasi sifat dielektrik dari *green-synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Lampung bidang KBK Fisika Material.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kelor (*Moringa oleifera*)

Kelor (*Moringa oleifera*) adalah salah satu tumbuhan dari keluarga *Moringaceae* yang banyak tumbuh luas di banyak negara tropis dan subtropics yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Kelor (*Moringa Oleifera*)

Kelor banyak ditanam secara komersil di India, Afrika, Amerika Selatan dan Tengah, Meksiko, Hawaii dan Asia. Menurut beberapa penelitian, berbagai produk turunan kelor bisa digunakan sebagai bahan antiinflamasi, antihipertensi, diurectic, antinikroba, antibakteri dan antikanker. Beberapa senyawa bioaktif yang umum terdapat pada biji, daun dan bunga yaitu fenol, protein kasar dan glukosida. Unsur mineral seperti Mg, K, Ca, P dan S juga terdapat pada daun kelor maupun pada bunganya (Manguro, 2007).

Daun kelor mengandung banyak senyawa bioaktif seperti flavanol glukosida, asam benzoate glukosida dan benzaldehida. Ekstrak air kelor mengandung gula seperti D-manosa dan D-glukosa. Polisakarida juga terdapat dalam ekstrak air kelor yang kemudian terhidrolisis menjadi D-glukosa, asam D-glukonant dan

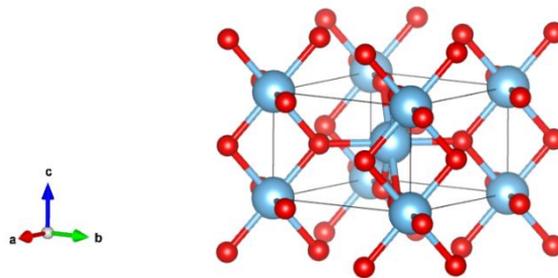
D-galaktosa. Hadirnya molekul gula dalam ekstrak tumbuhan membantu dalam proses sintesis nanopartikel. Manosakarida seperti glukosa memiliki kemampuan mereduksi dan dapat dimanfaatkan dalam proses sintesis nanopartikel. Selain itu, fruktosa (manosakarida dengan gugus fungsi keton) dapat digunakan untuk mensintesis nanopartikel emas (Au) dan perak (Ag). Aldehid juga dapat dioksidasi menjadi gugus fungsi karboksilat (Tiloke dan Chuturgon, 2017).

## 2.2 Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)

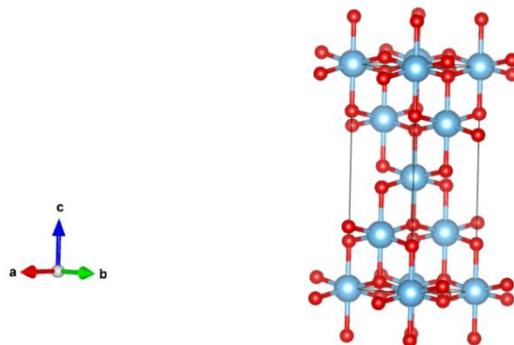
Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) atau dikenal sebagai titania adalah bahan yang berguna untuk berbagai aplikasi potensial di berbagai bidang, termasuk pengolahan udara dan air limbah, konversi energi matahari dan katalisis. Wujudnya berupa bubuk putih tidak berbau dengan berat molekul sekitar 79,865 g/mol dan nilai pH sekitar 7,5. TiO<sub>2</sub> telah menjadi fokus utama penelitian dan aplikasi karena kemampuannya sebagai pengoksidasi yang kuat untuk mendekomposisi polutan organik, daya tahan lama, tidak beracun, biaya rendah, dan transparansi terhadap cahaya tampak. Salah satu kegunaan utama TiO<sub>2</sub> adalah sebagai bahan tabir surya dan bahan dasar putih untuk banyak cat dan bahan pewarna. Beberapa metode sintesis yang umum digunakan untuk menyiapkan nanostruktur TiO<sub>2</sub> termasuk metode hidrotermal, solvotermal, sol gel, oksidasi langsung, deposisi uap kimia, dan gelombang mikro. Dengan kemampuan yang luas dan berbagai metode sintesis yang tersedia, TiO<sub>2</sub> tetap menjadi subjek penelitian yang menarik dan berpotensi untuk aplikasi masa depan yang inovatif dan berkelanjutan (Aravind *et al.*, 2021).

TiO<sub>2</sub> memiliki tiga bentuk kristal yaitu: anatase, rutil, dan brookite seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2.2** sampai **Gambar 2.4**. Berdasarkan **Gambar 2.2** sampai **Gambar 2.4** TiO<sub>2</sub> jenis anatase memiliki struktur kristal yang sesuai dengan sistem tetragonal (dengan model dipiramidal) dan digunakan terutama sebagai fotokatalis di bawah iradiasi UV. TiO<sub>2</sub> jenis rutil juga memiliki struktur kristal tetragonal (dengan model prisma) dan TiO<sub>2</sub> jenis brookite memiliki struktur kristal ortorombik. Ketiga fase kristal tersebut memiliki sifat fisik dan

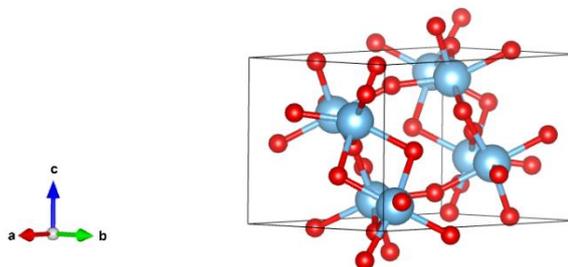
kimia yang memengaruhi performa  $\text{TiO}_2$  dalam berbagai aplikasi. Anatase memiliki aktivitas fotokatalitik tertinggi di antara ketiganya karena area permukaannya yang luas dan efisiensi pemisahan pasangan elektron.



**Gambar 2** Fasa Rutile  $\text{TiO}_2$  (COD: 9015662.cif) dibuat dengan aplikasi vesta.



**Gambar 3** Fasa Anatase  $\text{TiO}_2$  (COD: 7206075.cif) dibuat dengan aplikasi vesta.



**Gambar 4** Fasa Brookite  $\text{TiO}_2$  (COD: 9004139.cif) dibuat dengan aplikasi vesta.

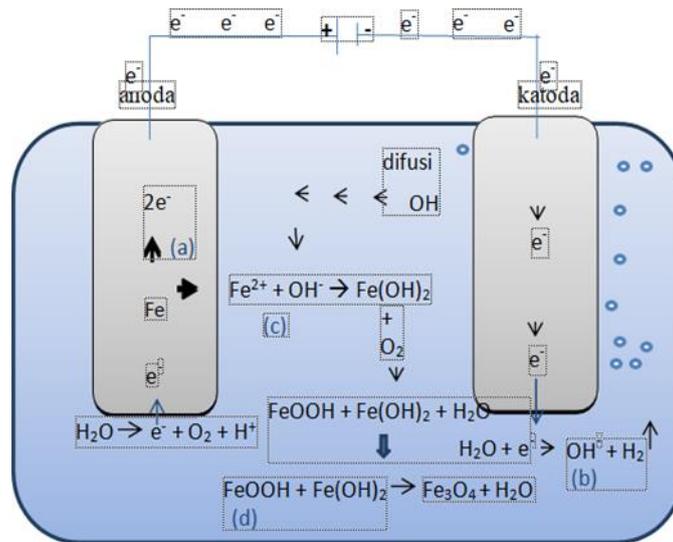
Sebaliknya, rutil lebih stabil secara termal dan banyak digunakan dalam industri karena indeks refraksinya yang tinggi serta kemampuan menyebarkan cahaya yang baik. Brookite, meskipun jarang ditemukan secara alami dan lebih sulit disintesis secara murni, memiliki struktur kristal ortorombik yang unik dan dapat menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang tinggi pada kondisi tertentu (Macwan *et al.*, 2011).

### 2.3 Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Magnetit merupakan salah satu oksida besi yang menunjukkan kemagnetan paling kuat diantara oksida-oksida besi yang lain seperti maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) sehingga dimanfaatkan di berbagai bidang. Besi oksida dapat digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk biomedis, adsorben, katalis, sistem pendingin magnet, perangkat penyimpanan yang bersifat magnetis dan sebagainya (Tan dan Bakar, 2006).

Magnetit memiliki sifat yang sangat baik, yaitu dapat merespon medan magnet luar sehingga mempunyai hubungan yang kuat dengan medan magnetnya sendiri, memiliki sifat khas yang keras, tahan panas dan zat kimia. Selain itu, material ini memiliki tahanan jenis listrik yang tinggi sehingga banyak digunakan dalam bidang elektronika. Material ini dapat termagnetisasi secara spontan pada temperatur Curie (*feromagnetik*), namun berubah menjadi bersifat *paramagnetik* ketika berada pada temperatur di atas Curie (Soliha dan Wiqradhani, 2017).

Temperatur curie adalah titik kritis terjadinya perubahan fase feromagnetik suatu bahan padat menjadi paramagnetik akibat pemanasan dan dapat dilihat dengan terlepasnya suatu bahan feromagnetik yang dipanasi dari magnet permanen (I, Ngom *et al.*, 2021).

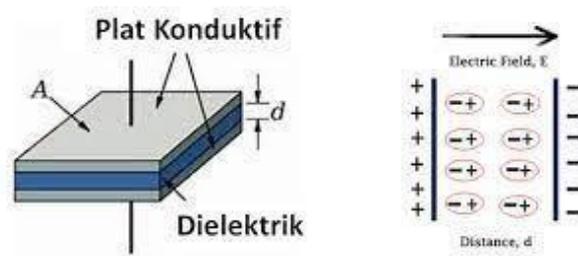


**Gambar 5.** Mekanisme Pembentukan Magnetit.

Pada **Gambar 5** terlihat bahwa mekanisme pembentukan magnetit memiliki lempeng anoda, elektroda besi mengalami reaksi oksidasi menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan pelepasan elektron. Gas  $\text{O}_2$  ditandai dengan adanya gelembung-gelembung kecil pada permukaan lempeng anoda. Sedangkan pada lempeng katoda terjadi reaksi reduksi  $\text{H}_2\text{O}$  menghasilkan  $\text{OH}^-$  dan gas  $\text{H}_2$  (Januarita *et al.*, 2010).

## 2.4 Material Dielektrik

Material dielektrik adalah isolator yang dapat terpolarisasi oleh medan listrik. Material dielektrik memiliki kemampuan untuk menyimpan energi listrik karena sifat isolator yang membuat arus listrik tidak dapat mengalir. Elektron dalam material dielektrik terikat, sehingga tidak dapat menghantarkan arus listrik seperti konduktor. Namun, ketika terkena medan listrik, elektron dan nukleus atom akan mengalami perubahan posisi, dengan elektron cenderung mendekati elektroda positif dan nukleus mengalami pergeseran ke arah elektroda negatif. Dielektrik sering digunakan sebagai bahan di antara dua pelat kapasitor karena kemampuan mereka dalam menyimpan energi, yang tergantung pada konstanta dielektriknya yang dapat dilihat Gambar 6.



**Gambar 6.** Dielektrik Material.

**Gambar 2.6** menunjukkan suatu lempengan tipis yang diletakkan di antara kedua pelat kapasitor. Jika di antara keping + dan keping – diisi dengan bahan dielektrik (isolator), kuat medan listrik di antara keping akan menurun dan kapasitansi akan naik. Dielektrik terbagi atas 3 jenis yaitu pada padat (*solid*), cair (*liquid*) dan udara (*gas*) serta ada 2 jenis molekul yaitu polar dan non-polar. Dibandingkan dengan penyimpanan energi fisik atau kimia, dielektrik dalam kapasitor memiliki efisiensi pengisian-pengosongan yang lebih baik. Bahan dielektrik yang baik memiliki sifat konduktivitas listrik rendah, rugi dielektrik rendah, transparansi optik tinggi, ketahanan kimia yang baik, stabilitas mekanis yang baik, dan produksi yang hemat biaya (Suharyadi,1998).

## 2.5 Kapasitansi dan Tetapan Dielektrik

Kapasitansi adalah besaran yang menunjukkan kemampuan dari suatu kapasitor menampung muatan listrik. Kapasitansi bergantung pada ukuran dan bentuk konduktor dengan muatan yang disimpan ( $Q$ ) dan perbedaan potensial ( $V$ ). Kapasitansi didefinisikan sebagai Persamaan (2.1).

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

Kapasitansi dielektrik mengacu pada kapasitansi yang ditambahkan ke dalam sebuah kapasitor karena adanya sebuah bahan dielektrik di antara dua pelat kapasitor. Ketika sebuah bahan dielektrik ditempatkan di antara dua pelat kapasitor, kapasitansi keseluruhan dari kapasitor tersebut meningkat dengan kapasitansi dielektrik ( $C_d$ ), konstanta dielektrik relatif (juga dikenal sebagai

faktor dielektrik) dari bahan dielektrik tersebut ( $\epsilon_r$ ) dan kapasitansi kapasitor tanpa dielektrik (biasanya disebut sebagai kapasitansi vakum atau udara) ( $C_0$ ) maka kapasitansi dielektrik dapat dirumuskan sebagai Persamaan (2.2).

$$C_d = \epsilon_r \cdot C_0 \quad (2.2)$$

Dengan adanya bahan dielektrik, kapasitansi dielektrik dapat menjadi jauh lebih besar daripada kapasitansi kapasitor tanpa dielektrik. Hal ini disebabkan oleh polarisasi molekul-molekul dalam bahan dielektrik ketika ditempatkan dalam medan listrik eksternal, yang menyebabkan peningkatan jumlah muatan yang dapat disimpan oleh kapasitor.

Tetapan dielektrik ( $\epsilon$ ) adalah parameter yang menggambarkan kemampuan suatu bahan dielektrik untuk mempengaruhi kapasitansi sebuah kapasitor. Ini mengindikasikan seberapa banyak sebuah bahan dielektrik dapat meningkatkan kapasitansi sebuah kapasitor dibandingkan dengan kapasitansi vakum atau udara.

Tetapan dielektrik biasanya dinyatakan dalam satu dari dua bentuk:

1. **Tetapan dielektrik absolut ( $\epsilon_0$ )**, adalah tetapan dielektrik dari vakum atau ruang hampa.
2. **Tetapan dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ )**, adalah tetapan dielektrik suatu bahan dalam hubungannya dengan tetapan dielektrik vakum. Nilai  $\epsilon_r$  untuk sebuah bahan dielektrik biasanya lebih besar dari 1, menunjukkan bahwa kapasitansi sebuah kapasitor akan meningkat ketika bahan dielektrik ditempatkan di antara pelat- pelatnya (Puri dan Babbar, 1996).

## 2.6 *Green-Synthesized*

Metode *green-synthesized* adalah pendekatan alternatif dalam sintesis nanopartikel yang menggunakan ekstrak tanaman sebagai bahan baku utamanya. Metode ini menawarkan solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan dengan metode kimia konvensional, yang seringkali memerlukan biaya sintesis tinggi, konsumsi energi yang besar, dan resiko

kontaminasi yang berbahaya. Dengan *green-synthesized*, nanopartikel dapat diproduksi dengan hasil yang tinggi, kristalinitas yang baik, serta keseragaman dalam ukuran, bentuk, dan morfologi (Prasad *et al.*, 2017).

Proses sintesis nanopartikel menggunakan ekstrak tanaman melibatkan tiga tahap utama: aktivasi, pertumbuhan, dan terminasi. Pada tahap aktivasi, ion logam direduksi oleh gugua hidroksil dalam ekstrak tanaman, kemudian mengalami nukleasi untuk membentuk partikel awal. Fase pertumbuhan melibatkan penggabungan spontan partikel-partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Terakhir, pada tahap terminasi, partikel mencapai aktivitas maksimum yang dipengaruhi oleh agen penstabil dari ekstrak tanaman. Dengan demikian, *green-synthesized* menggunakan ekstrak tanaman sebagai bahan baku menyediakan cara lebih ramah lingkungan dan ekonomis untuk menghasilkan nanopartikel berkualitas tinggi (Bhardwaj *et al.*, 2020).

Karakterisasi nanopartikel yang dihasilkan melalui metode *green-synthesized* sangat penting untuk menentukan sifat dan potensinya dalam berbagai aplikasi. Beberapa karakterisasi utama meliputi analisis ukuran partikel, bentuk, distribusi ukuran, dan stabilitas, yang dapat dikaji menggunakan teknik seperti *Dynamic Light Scattering* (DLS) dan TEM. Kristalinitas nanopartikel dapat ditentukan melalui XRD, sementara komposisi kimia serta interaksi gugus fungsional dapat dianalisis menggunakan FTIR. Selain itu, sifat optik nanopartikel dapat dipelajari dengan *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis), yang memberikan informasi mengenai *band gap energi* dan sifat optoelektroniknya (Prasad *et al.*, 2017).

## 2.7 Loss Tangent ( $\tan \delta$ )

Loss tangent adalah fenomena di mana energi listrik hilang dalam sebuah bahan dielektrik saat berada di dalam medan listrik yang berosilasi, seperti yang terjadi dalam kapasitor atau perangkat elektronik lainnya. Ini adalah salah satu komponen utama dari kerugian total dalam kapasitor dan perangkat listrik lainnya. Penjelarasannya berakar pada sifat dielektrik bahan tersebut. Ketika

medan listrik diterapkan pada sebuah bahan dielektrik, atom atau molekul di dalam bahan tersebut menjadi terpolarisasi. Ini berarti, dalam medan listrik yang kuat, muatan positif dan negatif dalam molekul tersebut dapat bergerak sedikit, mengarah ke polarisasi material. Namun, ketika medan listrik berubah, atom atau molekul ini harus bergerak kembali ke posisi awalnya (Ahmad, 2021).

Proses ini menyebabkan gesekan internal dan menghasilkan panas. *Loss tangent* terjadi ketika energi listrik dari medan listrik tersebut berubah menjadi energi panas ini karena gesekan internal di dalam bahan dielektrik. Penyebab *loss tangent* meliputi beberapa faktor, seperti resistivitas bahan, polarisasi bahan, keberadaan cacat dalam bahan, dan lain-lain. Intensitas rugi dielektrik seringkali diukur dalam bentuk faktor rugi dielektrik atau *tangent delta* ( $\delta$ ), yang merupakan rasio antara *loss tangent* dan energi yang disimpan dalam medan listrik. *Loss tangent* adalah faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam desain dan penggunaan perangkat listrik, karena dapat menyebabkan peningkatan suhu perangkat, penurunan efisiensi, dan pembatasan pada kinerja perangkat listrik. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang fenomena ini penting dalam pengembangan teknologi listrik yang lebih efisien (Kasap, 2018).

## 2.8 Impedansi

Impedansi pertama kali diperkenalkan oleh Oliver Heaviside pada tahun 1880 dan tak lama kemudian telah dikembangkan ke dalam bentuk diagram vektor kompleks oleh C.P. Steinmetz pada tahun 1893-1897 dan A.E. Kennelly pada tahun 1910. Impedansi merupakan perbandingan antara tegangan dan arus menunjukkan kemampuan rangkaian untuk menghambat arus listrik disebut impedansi riil dan kemampuan untuk menyimpan energi sebagai impedansi imajiner. Selain itu impedansi dapat didefinisikan juga sebagai resistansi kompleks yang ditemui ketika arus listrik yang mengalir melalui rangkaian tersusun dari resistor, kapasitor dan induktor. Hal ini dapat ditemukan pada rangkaian searah (DC) maupun bolak-balik (AC) (Lovich, 2012). Rangkaian AC sendiri nilai dari resistansi diubah menjadi impedansi sebagai fungsi

kompleks. Impedansi, sering dilambangkan dengan simbol  $Z$ , adalah kombinasi dari resistansi, induktansi, dan kapasitansi dalam suatu rangkaian.

Impedansi dalam suatu rangkaian dapat dihitung menggunakan hukum Ohm untuk arus bolak-balik (AC), di mana tegangan ( $V$ ), arus listrik ( $I$ ), dan impedansi ( $Z$ ) memiliki hubungan sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan (2.3).

$$V = I \times Z \quad (2.3)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa tegangan dalam suatu rangkaian AC merupakan hasil perkalian antara arus listrik yang mengalir dan impedansi yang ada dalam rangkaian tersebut. Impedansi biasanya dinyatakan dalam bentuk kompleks, karena ini merupakan kombinasi dari resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Secara matematis, impedansi kompleks dengan impedansi ( $Z$ ), resistansi ( $R$ ), imajiner ( $j$ ) dan reaktif ( $X$ ) dapat dirumuskan sebagai Persamaan (2.4).

$$Z = R + jX \quad (2.4)$$

Impedansi sangat penting dalam analisis dan desain rangkaian listrik AC, seperti dalam jaringan listrik, sistem audio, komunikasi nirkabel, dan banyak lagi. Pemahaman tentang impedansi membantu dalam pemilihan komponen, analisis kinerja sistem, dan pengoptimalkan efisiensi energi dalam berbagai aplikasi elektronika (Achamd dan Rudy, 2010).

## 2.9 Spektroskopi Impedansi

Spektroskopi impedansi merupakan peralatan analitik yang populer di dalam penelitian dan pengembangan ilmu material, karena alat ini memberikan pengukuran listrik yang relatif sederhana secara otomatis dan hasilnya sering kali dihubungkan dengan banyak variabel material yang kompleks mulai dari transport massa, laju reaksi kimia, korosi, sifat dielektrik, cacat, mikrostruktur dan pengaruh komposisi pada konduktansi dari zat padat. Data impedansi eksperimen  $Z$  dapat diwakili oleh impedansi rangkaian ekuivalen (model

rangkaian listrik)  $Z$  yang terdiri dari resistor- resistor ideal, kapasitor-kapasitor ideal, boleh jadi juga induktansi-induktansi ideal dan kemungkinan variasi distribusi rangkaian. Spektrum impedansi untuk material paramagnetik secara sederhana (Tabib *et al.*, 2015).

Plot antara komponen riil dari impedansi  $Z'$  dan komponen imajiner  $Z''$  menghasilkan suatu pola setengah lingkaran. Secara teoritis pola ini dapat ekuivalen dengan model rangkaian sederhana dari paralel R//C tunggal. Pemodelan ini hanya berlaku untuk material yang homogenya secara elektronis. Impedansi  $Z$  untuk rangkaian tunggal R//C paralel dengan impedansi real ( $Z'$ ), impedansi imajiner ( $Z''$ ), frekuensi sudut ( $\omega$ ), resistansi ( $R$ ), imajiner ( $j$ ), kapasitansi ( $C$ ) dapat dilihat pada Persamaan (2.5) sampai (2.7).

$$Z = \frac{R}{1 + j\omega RC} = Z' + jZ'' \quad (2.5)$$

$$Z' = \frac{R}{1 + (\omega RC)^2} \quad (2.6)$$

$$Z'' = \frac{\omega R^2 C}{1 + (\omega RC)^2} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.5) hingga (2.7) terdiri dari dua komponen utama, yaitu bagian riil dan bagian imajiner. Dalam analisis impedansi kompleks, bagian riil merepresentasikan resistansi, sedangkan bagian imajiner menggambarkan reaktansi dalam suatu sistem. Jika bagian riil diplot pada sumbu-X dan bagian imajiner diplot pada sumbu-Y dalam sebuah grafik, maka akan terbentuk kurva yang dikenal sebagai "plot Nyquist". Plot Nyquist sering digunakan dalam analisis sistem listrik dan elektrokimia untuk mengidentifikasi karakteristik impedansi suatu material atau rangkaian (Survana *et al.*, 2002).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2024 sampai bulan September 2024. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan meliputi: sintesis MO, sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ . Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.2.1 Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: gelas ukur, gelas beaker, timbangan digital, *magnetik bar*, *magnetic stirrer*, kertas saring *whatman 01*, *hot plate*, *ultrasonic cleaner*, pinset, meja magnet, cawan petri, *power supply*, corong erlenmeyer, tabung erlenmeyer, spatula, mesin kompaksi, pipet tetes, furnace dan jangka sorong.

##### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bubuk ekstrak daun MO (PT. Timus Rasa Indonesia, Depok, Jawa Barat).
2.  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Merck, Emsure)

3.  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Merck, Emsure)
4.  $\text{NH}_4\text{OH}$  10%
5. TTIP 9,3 ml
6. *Alcohol* 70%
7. Aquades

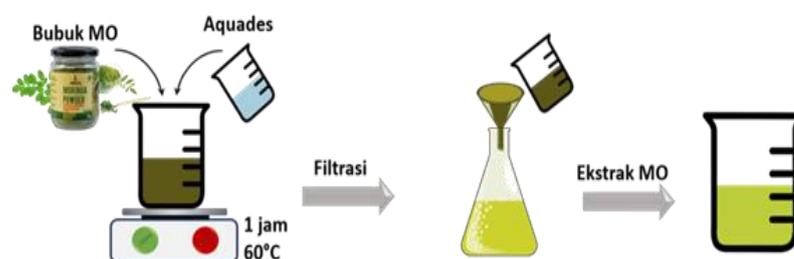
### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Proses Pembuatan MO

Proses pembuatan larutan MO ini sebagai berikut:

1. Disiapkan ekstrak MO sebanyak 5 gram yang dilarutkan dalam 60 ml aquades, diaduk selama 30 menit pada suhu  $60^\circ\text{C}$ .
2. Larutan MO yang sudah dilarutkan didiamkan hingga mencapai suhu ruang dan disaring menggunakan kertas saring Whatman 01 untuk memperoleh larutan ekstrak MO.
3. Larutan MO disimpan dalam lemari pendingin untuk proses selanjutnya.

Diagram pembuatan larutan MO ditunjukkan pada **Gambar 7**.



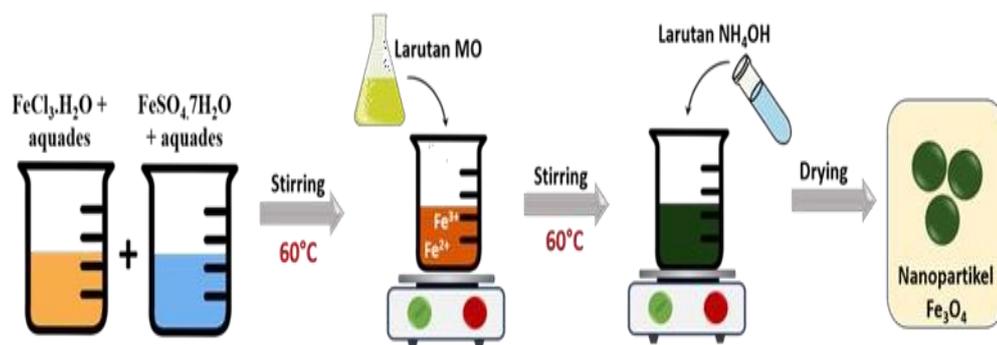
**Gambar 7.** Pembuatan Larutan MO.

### 3.3.2 Green-Synthesized Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Proses pembuatan larutan *Green-Synthesized* Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ini sebagai berikut:

1. FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dan FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O masing-masing sebanyak 4,054 gram dan 2,085 gram dilarutkan dalam 7,5 ml aquades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit.
2. Larutan FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dan FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O kemudian dicampurkan menjadi satu sehingga menjadi larutan baru dan diaduk kembali selama 15 menit dengan suhu 60°C.
3. Titrasi dilakukan menggunakan larutan NH<sub>4</sub>OH 10% sambil diaduk selama 90 menit.
4. Larutan *green-synthesized* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang dihasilkan kemudian diendapkan dan dilanjutkan dengan penyucian menggunakan aquades sebanyak 7 kali.
5. Hasil endapan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dikeringkan menggunakan *furnance* selama 2 jam pada suhu 100°C hingga diperoleh serbuk nanopartikel *green-synthesized* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Diagram *green-synthesized* nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ditunjukkan pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** *Green-Synthesized* Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

### 3.3.3 Sintesis Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>

Setelah diperoleh serbuk *green-synthesized* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, maka langkah selanjutnya dilakukan pembuatan nanopartikel sebagai berikut:

1. Sebanyak 0,5 g Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ekstrak MO dilarutkan, kemudian didispersikan ke dalam 10 ml ethanol kemudian diultrasonikasi selama 30 menit pada suhu ruang membentuk larutan A.
2. Larutan TTIP konsentrasi 30% dengan cara dicampurkan TTIP dan larutan MO di-*stirrer* selama 1 jam pada suhu ruang dengan kecepatan 700 rpm sehingga diperoleh larutan B.
3. Larutan asam asetat dititrasi ke dalam larutan B secara perlahan sampai pH 2 dalam keadaan diaduk dengan kecepatan dan suhu yang sama.
4. Larutan B ditambahkan ke larutan A dan di-*stirrer* selama 1 jam dengan kecepatan 700 rpm.
5. Penyucian sebanyak 7 kali menggunakan aquades dan etanol dengan masing-masing 10 ml maka terbentuk *slurry* dan dikeringkan menggunakan *furnance* pada suhu 60°C selama 2 jam.
6. Larutan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> didiamkan dan digerus sehingga didapatkan bubuk berwarna coklat kekuningan.

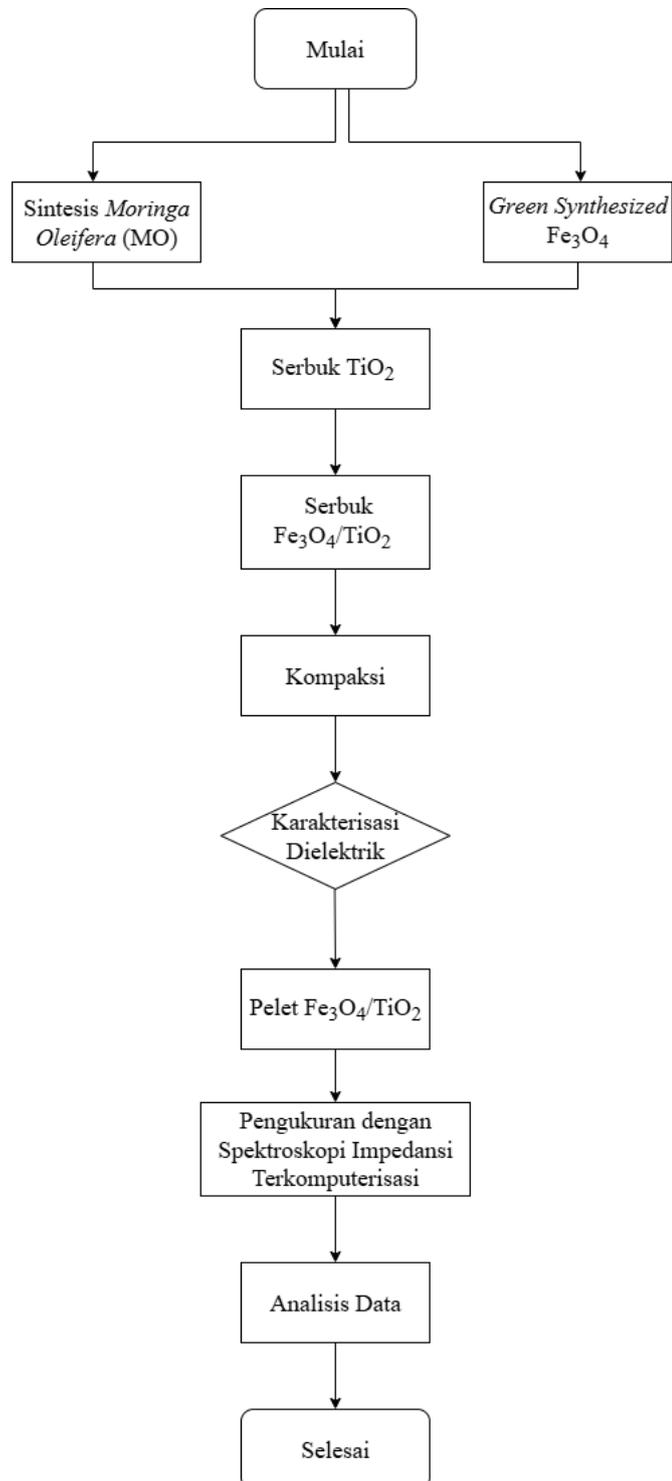
Untuk variasi konsentrasi antara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1.** Variasi konsentrasi antara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan TiO<sub>2</sub>.

Perbandingan Konsentrasi	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TTIP	Larutan Mo
Sampel	(gram)	(ml)	(ml)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> 1:0	0	0	0
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> 1:3	0,5	1,9	4,3
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> 1:5	0,5	3,1	7,1
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> 1:7	0,5	4,3	10

### 3.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 9.** Diagram Alir Prosedur Penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimplan

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Penelitian ini menyintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  dengan metode *green-synthesized* menggunakan ekstrak *Moringa oleifera* untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi  $\text{TiO}_2$  dan frekuensi (10–900 kHz) terhadap sifat dielektrik. Hasil menunjukkan rasio 1:7 (TTIP 4,3 ml) memiliki nilai permitivitas riil tertinggi 98,36 dan imajiner 34,97 pada 10 kHz, dengan penurunan signifikan di frekuensi tinggi. Semua sampel memiliki *loss tangent* <0,5 dan pola impedansi menurun di frekuensi rendah lalu meningkat di frekuensi tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi konsentrasi  $\text{TiO}_2$  dan pengaturan frekuensi berpengaruh signifikan terhadap kinerja dielektrik  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa saran atau masukan untuk penelitian selanjutnya yakni optimalisasi metode sintesis perlu dilakukan dengan memperhatikan parameter temperatur dan waktu reaksi guna memperoleh struktur  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  yang lebih seragam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z. 2012. Polymer Dielectric Materials. In Dielectric Material. InTech. pp. 1-7. Doi:10.5772/50638.
- Aravind, M., Amalanathan, M., dan Mary, M.S.M. 2021. Synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by chemical and green synthesis methods and their multifaceted properties. SN Applied Sciences. Vol.3 No.4. pp. 1–10.
- Callister, W. D. 2010. Materials science and engineering: An introduction (8th edition). Materials & Design. Vol. 12. No. 1. pp. 1-59.
- Evtushenko, Y. M., Romashkin, S. V., Trofimov, N. S and Checkhlova, T. K. 2015. Optical Properties of TiO<sub>2</sub> Thin Films. *Physics Procedia*. Vol. 73. pp. 100-107.
- Gulita, N.D, Teuhanduru, S., dan Shanti, M. R. S. 2015. Identifikasi Sifat Dielektrik Pisang Pada Tingkat Kematangan Berbededa Dengan Rangkaian RLC. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*. Vol. 6. No. 2. Hal. 1-7.
- I, Ngom., B. D, Ngom., J, Sackey., and S, Khamlich. 2021. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using extracts of *Moringa oleifera*: Structural & optical properties. Vol. 36. pp. 1-8.
- Januarita, A. W., Febrina, R., Fajaroh, F., dan Setyawan, H. 2010. Sintesa Nanopartikel Magnetite dengan metode Elektrokimia. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN:1411-4216. Hal. 1-7.
- Jazirehpour, M., dan Seyyed Ebrahimi, S. A. 2015. Effect of aspect ratio on dielectric, magnetic, percolative and microwave absorption properties of magnetite nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 638. Hal.188–196.

- Kasap. 2018. *Electronic Materials and Devices Engage us*. Fourth edition. NY : McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc. Includes bibliographical references and index. New York.
- Kozo, 1971. *Dielectric Properties of Fine Particles of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Some Ferrites*. 1520.
- Lakshmanan, 2013. Application of Magnetic nanoparticles and reactive filter materials for wastewater treatment. Universitas service UsAb.
- Lovich.2012. X-Ray Diffraction for Materials Research from Fundamentals to Applications, CRC Press, United States.
- Macwan, D, P., Dave, P, N., and Chaturvedi, S. 2011. A Review on nano TiO<sub>2</sub> sol gel type syntheses and its applications. *Journal of Materials Science*. Vol. 46. No. 11. pp. 3669-3686.
- Manguro. 2007. Plasmon Induced Enhanced Photocatalytic Activity of Gold Loaded Hydroxyapatite Nanoparticles for Methylene Blue Degradation under Visible Light. *RSC Advances*. Vol. 7. No. 14. Hal. 8633–45.
- Marsel Tumbelaka, R. 2022. Green Synthesis Fotokatalis Nanopartikel Core-Shell Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Menggunakan Ekstrak Moringa Oleifera dan Karakterisasinya. *Tesis*. Yogyakarta.
- McMahon dan Gillian. 2007. *Analytical Instrumentation*, First Edition, John Wiley dan Sons Ltd, Chichester.
- Mubarroh, N., Alfansuri, T., Aji Wibowo, N., Imani Istiqomah, N., Marsel Tumbelaka, R., dan Suharyadi, E. 2022. Detection of green-synthesized magnetite nanoparticles using spin-valve GMR-based sensor and their potential as magnetic labels.
- Mufti, N., Munfarriba, U., Fuad, A., and Diantoro, M. 2016. Synthesis and photocatalytic properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> core-shell for degradation of Rhodamine B. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1712.
- Muhammad Sukron., Woro Setyarsih dan Lydia Rohmawati. Studi Dielektrik Polyvinilidene Fluorid dari Lumpur Sidoarjo. *Jurnal Fisika*. Vol.04. No. 01. Hal. 19-22.

- Piro, N. S., Hamad, S. M., Mohammed, A. S., dan Barzinjy, A. A. 2023. Green Synthesis Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Nanoparticles From Rhus coriaria Extract: A Characteristic Comparison With a Conventional Chemical Method. *IEEE Transactions on NanoBioscience*. Vol. 22. No. 2. Hal. 308–317.
- Powar, R. R., Phadtare, V. D., Parale, V. G., Park, H. H., Pathak, S., Kamble, P. R., Piste, P. B., dan Zambare, D. 2018. Structural, morphological, and magnetic properties of  $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) prepared using a chemical coprecipitation method. *Ceramics International*. Vol. 44. No.17. Hal. 20782– 20789.
- Prasad, C., Scenivasulu, K., Gangadhara, S., and Venkateswarlu, P. 2017. Bioinspired green synthesis of Ni/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetic nanoparticles using Moringa Oleifera leaves extract: A magnetically recoverable catalyst for organic ye degradation in aqueous solution. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 700. pp. 252-258
- Puri, R. K., dan Babbar, V. K. 1996. Solid State Physics, S.Chand & Company Ltd. New Delhi.
- Ramanujan and Lao.2006. Dependence of lanthanum ions on structural, magnetic and electrical of manganese based spinel nanoferrites. *Ceramics International*. Vol. 46. No. 5.
- Suharyadi. 1998. A Simple Technique for A.C. Conductivity Measurements, *Bulletin of Materials Science*. Vol. 25. No. 7. pp. 647-651.
- Suharyadi, 2015.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Yang Dienkapsulasi Polimer Polyethylene Glycol. Vol. 16. no. 3. Hal. 50–55.
- Suvarna, R, P., Rao, K, R, and Subbarangiah, K. 2022. A Simple Technique for a.c conductivity measurements. *Bulletin of Materials Science*. Vol. 27. No. 7. pp. 647-61.
- Soliha and Wiqradhani. 2017. Dampak Butir Nanopartikel Copper Ferrite ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ) Terhadap Sifat Dielektrik, *Jurnal Mekanikal*. Vol. 8. No. 2. Hal. 777-783.

- Tan and Bakar, 2006. The Mechanism of Deceleration of Nucleation and Crystal Growth by The Small Addition of Transition Metals to Lithium Disilicate Glasses, *Scientific Reports*. Vol. 6. pp.1–16.
- Tabib, A., Sdiri, N., Elhouichet, H., and Ferid, M. 2015. Investigations on electrical conductivity measurements. *Bulletin of Materials Science*. Vol. 622. pp. 687-694.
- Tiejun Xin., Mingliang Ma., Hepeng Zhang., Juanwei Gu., Shuangjie Wang., Mengjiao Liu and Qiuyu Zhang. 2014. A Facile approach for the synthesis of magnetic separable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>, core-shell nanocomposites as highly recyclable photocatalyst. *Applied Surface Science*. Vol. 288. Pp 51-59.
- Tiloke and Chuturgoon. 2017. Moringa oleifera and their phytonanoparticles: Potential antiproliferative agents against cancer. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. pp. 457–466.
- Turcu, R., Socoliuc, V., and V, L. 2015. Biochemical and Biophysical Research Communications Magnetic iron oxide nanoparticles : Recent trends in design and synthesis of magnetoresponsive nanosystems. Vol. 468. pp. 442-452.