

MINYAK BUNGA MATAHARI DENGAN TAMBAHAN PARTIKEL ZINK FERIT (ZnFe_2O_4) SEBAGAI MINYAK INSULASI TRANSFORMATOR

ERGIANA RAHAYU



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Minyak Bunga Matahari dengan Tambahan Partikel Zink Ferit (ZnFe_2O_4) sebagai Minyak Insulasi Transformator” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Ergiana Rahayu
G4401221002

ABSTRAK

ERGIANA RAHAYU. Minyak Bunga Matahari dengan Tambahan Partikel Zink Ferit (ZnFe_2O_4) sebagai Minyak Insulasi Transformator. Dibimbing oleh MOHAMMAD KHOTIB dan HENNY PURWANINGSIH.

Minyak mineral yang umum digunakan sebagai minyak insulasi transformator memiliki keterbatasan dari segi keberlanjutan dan dampak lingkungan, sehingga mendorong pengembangan minyak ester alami sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu kandidat yang berpotensi adalah minyak bunga matahari (*sunflower oil*, SO), tetapi sifat dielektriknya masih perlu ditingkatkan. Penelitian ini bertujuan menyintesis minyak insulasi berbasis SO dengan aditif partikel zink ferit (ZnFe_2O_4) serta mengevaluasi pengaruhnya pada mutu kimia, fisik, dan dielektrik sesuai dengan standar IEC 62770. Partikel ZnFe_2O_4 disintesis melalui metode ko-presipitasi pada suhu kalsinasi 400,0 (ZF-1), 600,0 (ZF-2), dan 800,0 (ZF-3) °C. Hasilnya menunjukkan terbentuk fase spinel ZnFe_2O_4 dengan kristalinitas dan ukuran kristalit yang meningkat seiring naiknya suhu kalsinasi. Analisis ukuran partikel menunjukkan diameter hidrodinamik sebesar 221,93–318,03 nm. Tambahan ZnFe_2O_4 menurunkan kadar air dan meningkatkan tegangan tembus (BDV) hingga 80,2–80,4 kV pada sampel terbaik (ZF-1C5, ZF-2C3, dan ZF-3C5). Minyak insulasi berbasis SO terdispersi ZnFe_2O_4 berpotensi dikembangkan sebagai alternatif minyak insulasi ramah lingkungan.

Kata kunci: BDV, minyak bunga matahari, minyak insulasi transformator, ZnFe_2O_4

ABSTRACT

ERGIANA RAHAYU. Sunflower Oil with Addition of Zinc Ferrite (ZnFe_2O_4) Particles as Transformer Insulating Oil. Supervised by MOHAMMAD KHOTIB and HENNY PURWANINGSIH.

Mineral oil, which is widely used as transformer insulating oil, has limitations in terms of sustainability and environmental impact, thereby encouraging the development of natural ester oils as more environmentally friendly alternatives. One promising candidate is sunflower oil (SO); however, its dielectric properties still require improvement. This study aimed to synthesize SO-based transformer insulating oil containing zinc ferrite (ZnFe_2O_4) particles and to evaluate its effects on the chemical, physical, and dielectric properties of the oil in accordance with IEC 62770 requirements. ZnFe_2O_4 particles were synthesized via the co-precipitation method with calcination temperatures of 400,0 (ZF-1), 600,0 (ZF-2), and 800,0 (ZF-3) °C. The results confirmed the formation of the spinel ZnFe_2O_4 phase, with crystallinity and crystallite size increasing as the calcination temperature increased. Particle size analysis revealed hydrodynamic diameters ranging from 221,93 to 318,03 nm. The addition of ZnFe_2O_4 reduced the moisture content and increased the breakdown voltage (BDV) to 80,2–80,4 kV in the best-performing formulations (ZF-1C5, ZF-2C3, dan ZF-3C5). The SO-based insulating oils dispersed by ZnFe_2O_4 demonstrated potential as environmentally friendly alternatives for transformer insulation applications.

Keywords: BDV, sunflower oil, transformers insulating oil, ZnFe_2O_4



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

MINYAK BUNGA MATAHARI DENGAN TAMBAHAN PARTIKEL ZINK FERIT (ZnFe_2O_4) SEBAGAI MINYAK INSULASI TRANSFORMATOR

ERGIANA RAHAYU

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Kimia

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Tetty Kemala, S.Si., M.Si.
- 2 Novriyandi Hanif, S.Si., M.Sc., D.Sc.
- 3 Dr. Wulan Tri Wahyuni, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Minyak Bunga Matahari dengan Tambahan Partikel Zink Ferit
(ZnFe_2O_4) sebagai Minyak Insulasi Transformator

Nama : Ergiana Rahayu

NIM : G4401221002

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Mohammad Khotib, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:

Dr. Henny Purwaningsih, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Kimia:

Prof. Dr. Dra. Dyah Iswantini, M.Sc. Agr.

NIP 196707301991032001



Tanggal Ujian: 14 Juli 2026

Tanggal Lulus:



vi

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2026 sampai bulan April 2026 ini ialah Minyak Insulasi Transformator, dengan judul “Minyak Bunga Matahari dengan Tambahan Partikel Zink Ferit (ZnFe_2O_4) sebagai Minyak Insulasi Transformator”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Mohammad Khotib, S.Si., M.Si. dan Dr. Henny Purwaningsih, S.Si., M.Si. yang telah memberikan bimbingan, saran, dan ilmu yang bermanfaat selama penyusunan karya ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kemendikbudristek, melalui beasiswa Kartu Indonesia Pintar Kuliah (KIP-K) yang telah memberikan dukungan dan bantuan biaya pendidikan selama penulis menempuh studi sarjana ini. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada pihak Laboratorium Terpadu dan Riset Unggulan yang telah memfasilitasi pengujian XRD dan PSA, Bapak Ian Subastiar, Ibu Riska Amelia Candra, S.Si, Pak Mail, Kak Hanna Fatimah Noor, S.Si., dan Kak Revi Rahmawati, S.Si yang telah membantu proses pengumpulan data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Erni Febriani, Nenek Lina Marlina, Bagja Randy Nugraha, Fadha Rizky, Ibu Sri Pritawardhani, Ibu Sondang Asih, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Tak lupa kepada rekan saya, Dzikrul Hakim, Muhammad Riyanto, S.Si., Putri Hasna, Mella Agitasari, M. Wildan Ataullah, Rafael Firdaus, M. Dikmal Oktaviawan, Nova Rivanny, Sayida Julirahma, dan Viola Gitasya yang telah memberi bantuan serta berdiskusi dalam pengumpulan data dan penulisan karya ilmiah ini. Terima kasih banyak Perpustakaan IPB (LSI) dan Kopi Kenangan sebagai tempat nyaman bagi penulis untuk menyelesaikan karya ilmiah ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan..

Bogor, Juli 2026

Ergiana Rahayu



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	xii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Prosedur Kerja	4
2.4 Analisis Data	8
III HASIL DAN PEMBAHASAN	9
3.1 Partikel Zink Ferit (ZnFe_2O_4)	9
3.2 Karakteristik Fase dan Ukuran Partikel Zink Ferit (ZnFe_2O_4)	12
3.3 Minyak Insulasi Berbasis SO dan Partikel ZnFe_2O_4	16
3.4 Spesifikasi Mutu Kimia Minyak Insulasi	17
3.5 Spesifikasi Mutu Fisik Minyak Insulasi	21
3.6 Spesifikasi Mutu Dielektrik Minyak Insulasi	25
IV SIMPULAN DAN SARAN	31
4.1 Simpulan	31
4.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	38
RIWAYAT HIDUP	64



DAFTAR TABEL

2.1	Variasi konsentrasi partikel ZnFe_2O_4 pada sintesis minyak insulasi	5
3.1	Rendemen sintesis partikel ZnFe_2O_4 sebelum dan setelah pencucian	12
3.2	Rerata ketepatan konstanta kisi dan ukuran kristalit partikel ZnFe_2O_4	15
3.3	Ukuran dan polidispersitas partikel ZnFe_2O_4	15
3.4	Kadar air SO dan minyak insulasi terdispersi partikel ZnFe_2O_4	18
3.5	Bilangan asam SO dan minyak insulasi terdispersi partikel ZnFe_2O_4	20
3.6	Densitas SO dan minyak insulasi terdispersi partikel ZnFe_2O_4 pada suhu 20,0 °C	22
3.7	Viskositas SO dan minyak insulasi terdispersi partikel ZnFe_2O_4 pada suhu 40,0 °C	24

DAFTAR GAMBAR

3.1	Partikel hasil sintesis. (a) prekursor hidroksida logam sebelum kalsinasi; (b) produk ZnFe_2O_4 setelah kalsinasi pada suhu 400,0 °C (ZF-1), 600,0 °C (ZF-2), dan 600,0 °C (ZF-3)	10
3.2	Mekanisme pelapisan partikel oleh AO (a) adsorpsi gugus karboksilat AO pada permukaan partikel; (b) tolakan sterik; (c) aglomerasi	11
3.3	Difraktogram partikel ZnFe_2O_4	13
3.4	Struktur spinel normal zink ferit (ZnFe_2O_4) dengan distribusi ion pada situs tetrahedral (A) dan oktahedral (B)	14
3.5	Penampakan visual minyak insulasi berbasis SO dengan variasi konsentrasi partikel ZnFe_2O_4 setelah 30 hari. (a) blanko; (b) 3 mg/L; (c) 5 mg/L; (d) 7 mg/L	17
3.6	Visualisasi pengujian tegangan tembus minyak insulasi menggunakan alat uji BDV. (a) tegangan diberikan secara bertahap pada elektroda; (b) tegangan melebihi kekuatan dielektrik minyak insulasi	25
3.7	Rerata tegangan tembus (BDV) SO dan minyak insulasi terdispersi partikel ZnFe_2O_4	26
3.8	Mekanisme pembentukan <i>streamer</i> dan terjadinya tegangan tembus pada minyak insulasi. (a) ionisasi molekul minyak menghasilkan elektron dan ion positif; (b) peningkatan ionisasi akibat penguatan medan listrik lokal; (c) pertumbuhan <i>streamer</i> ; (d) terbentuknya saluran konduktif yang menyebabkan pelepasan muatan listrik	27
3.9	Pembentukan lapisan ganda listrik di sekitar permukaan partikel ZnFe_2O_4	28
3.10	Ilustrasi efek perbedaan konsentrasi partikel terhadap nilai AC BDV untuk minyak insulasi berkadar air rendah dan tinggi	29

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir penelitian	39
2	Perhitungan massa prekursor	40
3	Perhitungan stoikiometri sintesis zink ferit	40
4	Persen rendemen hasil sintesis partikel ZnFe_2O_4	41
5	Ukuran kristalit partikel ZnFe_2O_4	42
6	Indeks miller dan konstanta kisi partikel ZnFe_2O_4	43
7	Ukuran dan polidispersitas partikel ZnFe_2O_4	44
8	Komposisi asam lemak minyak bunga matahari (CODEX Standard)	45
9	Nilai kadar air minyak insulasi berbasis SO	46
10	Hasil ANOVA kadar air dengan kepercayaan 95% minyak insulasi berbasis minyak bunga matahari dan partikel ZnFe_2O_4	48
11	Nilai bilangan asam minyak insulasi berbasis SO	49
12	Hasil ANOVA bilangan asam dengan kepercayaan 95% minyak insulasi berbasis minyak bunga matahari dan partikel ZnFe_2O_4	53
13	Nilai densitas minyak insulasi berbasis SO pada suhu 20,0 °C	54
14	Hasil ANOVA densitas dengan kepercayaan 95% minyak insulasi berbasis minyak bunga matahari dan partikel ZnFe_2O_4	56
15	Nilai densitas minyak insulasi berbasis SO pada suhu 40,0 °C	57
16	Nilai viskositas minyak insulasi berbasis SO pada suhu 40,0 °C	59
17	Hasil ANOVA viskositas dengan kepercayaan 95% minyak insulasi berbasis minyak bunga matahari dan partikel ZnFe_2O_4	61
18	Nilai tegangan tembus minyak insulasi berbasis SO	62
19	Hasil ANOVA tegangan tembus dengan kepercayaan 95% minyak insulasi berbasis minyak bunga matahari dan partikel ZnFe_2O_4	64



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University