

MINYAK INSULASI TRANSFORMATOR BERBASIS RBDPO DAN ADITIF PARTIKEL NIKEL FERIT TERDOPING ZINK ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$)

RAFAEL FIRDAUS



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



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Minyak Insulasi Transformator Berbasis RBDPO dan Aditif Partikel Nikel Ferit Terdoping Zink ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$)” 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

Rafael Firdaus
G4401221003

- 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

RAFAEL FIRDAUS. Minyak Insulasi Transformator Berbasis RBDPO dan Aditif Partikel Nikel Ferit Terdoping Zink ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$). Dibimbing oleh MOHAMMAD KHOTIB dan HENNY PURWANINGSIH.

Minyak nabati menjadi alternatif minyak insulasi pada transformator yang lebih ramah lingkungan dibandingkan minyak mineral. Tujuan penelitian ini adalah menyintesis minyak insulasi transformator berbasis *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) dengan zat aditif partikel nikel ferit terdoping zink ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$) yang mengacu pada standar IEC 62770 untuk menganalisis spesifikasi mutu kimia, fisika, dan dielektrik. Partikel disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan surfaktan asam oleat dan variasi konsentrasi doping Zn^{2+} . Diameter partikel berkisar 511,93–564,93 nm dengan distribusi ukuran yang relatif seragam. Hasil *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan pergeseran puncak ke sudut 2θ yang lebih rendah seiring peningkatan doping Zn^{2+} serta perubahan ukuran kristalit akibat distorsi kisi. Minyak insulasi yang dihasilkan memiliki kadar air 346–366 mg/L yang belum memenuhi IEC 62770, sedangkan bilangan asam 0,0280–0,0282 mg KOH/g, densitas 0,9110–0,9185 g/cm³, viskositas kinematik 49,62–49,85 mm²/s, dan tegangan tembus 44,80–56,62 kV telah memenuhi persyaratan standar IEC 62770.

Kata kunci: kopresipitasi; minyak insulasi transformator; nikel ferit terdoping zink; RBDPO; tegangan tembus.

ABSTRACT

RAFAEL FIRDAUS. Transformer Insulating Oil Based on RBDPO and Zinc-Doped Nickel Ferrite Particle Additive ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$). Supervised by MOHAMMAD KHOTIB and HENNY PURWANINGSIH.

Vegetable oil is an alternative insulating oil in transformers that is more environmentally friendly than mineral oil. This research aimed to synthesize *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) based transformer insulation oil with zinc-doped nickel ferrite particles ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$) additives that meet chemical, physical, and dielectric quality specification standards. Particles were synthesized by the coprecipitation method with oleic acid surfactant and varying Zn^{2+} doping concentrations. The particle diameter ranges from 511.93–564.93 nm with a relatively uniform size distribution. X-Ray Diffraction (XRD) results show a peak shift to a lower 2θ angle as Zn^{2+} doping increases as well as changes in crystallite size due to lattice distortion. The resulting insulating oil has a moisture content of 346–366 mg/L which does not meet IEC 62770, while the acid number is 0.0280–0.0282 mg KOH/g, density is 0.9110–0.9185 g/cm³, kinematic viscosity is 49.62–49.85 mm²/s, and breakdown voltage is 44.80–56.62 kV which meets the requirements of the IEC 62770 standard.

Keywords: breakdown voltage; co-precipitation; RBDPO; transformer insulating oil; zinc-doped nickel ferrite



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 INSULASI TRANSFORMATOR BERBASIS RBDPO DAN ADITIF PARTIKEL NIKEL FERIT TERDOPING ZINK ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$)

RAFAEL FIRDAUS

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

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



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim penguji:

1. Dr. Tetty Kemala, S.Si., M.Si
2. Prof. Dr. Dra. Eti Rohaeti, MS
3. Wisnu Widikdo, S.Si., M.Si





Judul Skripsi : Minyak Insulasi Transformator Berbasis RBDPO dan Aditif
Partikel Nikel Ferit Terdoping Zink ($\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_3$)
Nama : Rafael Firdaus
NIM : G4401221003

Disetujui oleh

Pembimbing 1
Dr. Mohammad Khotib, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2
Dr. Henny Purwaningsih, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Kimia
Prof. Dr. Dra. Dyah Iswantini Pradono, M.Sc.Agr.
NIP. 196707301991032001

Tanggal Ujian: 17 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 SWT atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Juni 2026 ini ialah dengan judul “Minyak Insulasi Transformator Berbasis RBDPO dan Aditif Partikel Nikel Ferit Terdoping Zink ($Zn_xNi_{1-x}Fe_2O_4$).

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing Dr. Mohammad Khotib, S.Si., M.Si dan Dr. Henny Purwaningsih S.Si., M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada ibu saya tercinta Ibu Susan Nurfazriatin, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada kepala Laboratorium Terpadu dan Riset Unggulan dan Laboratorium Kimia Fisik IPB yang telah menyediakan tempat dan bahan baku pada penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada staf Laboratorium Terpadu dan Riset Unggulan, yaitu Ian Subastiar, Hanna Fatimah Noor, Revi Rahmawati serta laboran Kimia Fisik, Riska Amelia Candra, S.Si. yang telah membantu selama proses pengumpulan data. Ucapan terima kasih juga kepada sahabat saya Nisrina Nadya P, Nurul Syfa F, dan Atria Ayu IS yang telah memberikan dukungan selama menjalani kuliah serta telah menjadi tempat berkeluh kesah di kala beratnya menjalani perkuliahan. Tak lupa juga rekan kuliah saya Ergiana Rahayu, Nur Annisa Windi, Sayida Julirahma, Nova Rivanny, M. Dikmal, Viola Gitasya, M. Wildan, Devi Tulak, Fiorenza Diandra dan Faudzan Lazzuardy yang telah memberikan bantuan serta berdiskusi dalam pengumpulan data dan penulisan karya ilmiah ini

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

Bogor, Juli 2026

Rafael Firdaus

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



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	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II METODE	3
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	3
2.2 Alat dan Bahan	3
2.3 Prosedur Kerja	3
III HASIL DAN PEMBAHASAN	7
3.1 Partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	7
3.2 Karakteristik Partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	9
3.3 Minyak insulasi berbasis RBDPO dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	12
3.4 Spesifikasi Mutu Kimia Minyak insulasi	13
3.5 Spesifikasi Mutu Fisik Minyak insulasi	16
3.6 Spesifikasi Mutu Listrik Minyak insulasi	19
IV SIMPULAN DAN SARAN	23
4.1 Simpulan	23
4.2 Saran	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	27
RIWAYAT HIDUP	54



DAFTAR TABEL

3.1 Hasil rendemen sintesis partikel	9
3.2 Rerata ketepatan konstanta kisi dan ukuran partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	11
3.3 Ukuran partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	12
3.4 Spesifikasi minyak insulasi transformator berdasarkan IEC 62770	13
3.5 Kadar air RBDPO dan minyak insulasi	14
3.6 Bilangan asam RBDPO dan minyak insulasi	16
3.7 Densitas RBDPO dan minyak insulasi pada 20 °C	17
3.8 Viskositas RBDPO dan minyak insulasi pada 40 °C	19
3.9 Tegangan tembus RBDPO dan minyak insulasi	22

DAFTAR GAMBAR

3.1 Struktur spinel NiFe_2O_4 (a) dan struktur spinel $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	7
3.2 Hasil sintesis partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (a) sebelum kalsinasi dan (b) setelah kalsinasi	8
3.3 Mekanisme pelapisan partikel oleh asam oleat	8
3.4 Partikel ferit tertarik medan magnet	9
3.5 Difraktogram standar COD 5910064 (a), NiFe_2O_4 (b), $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (x = 0,1) (c), $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (x = 0,2) (d), dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (x = 0,3) (e).	10
3.6 Mekanisme hidrolisis trigliserida pada minyak (Jawad <i>et al.</i> 2025)	15
3.7 Mekanisme pelepasan muatan listrik dalam cairan (Olmo <i>et al.</i> 2022). proses polarisasi membentuk daerah terionisasi (a), peningkatan medan listrik lokal (b), terbentuknya jembatan konduktif (c), dan terjadinya proses pelepasan muatan listrik (d).	20
3.8 Partikel mengalami polarisasi (a), penangkapan elektron bebas pada permukaan partikel (b), partikel mencapai keadaan jenuh (c).	21
3.9 Penangkapan elektron oleh partikel dan penundaan pembentukan streamer	21



DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir percobaan	28
2	Perhitungan massa prekursor	29
3	Perhitungan massa prekursor	30
4	Rendemen hasil sintesis	31
5	Ukuran kristalit partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	32
6	Indeks miller, konstanta kisi dan volume sel satuan partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	33
7	Pergeseran sudut pada difratogram partikel	35
8	Diameter dan polidispersitas partikel NiFe_2O_4 dan $\text{Zn}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	36
9	Kadar air minyak insulasi dan RBDPO	37
10	Hasil ANOVA two ways kadar air dengan kepercayaan 95%	39
11	Nilai bilangan asam minyak insulasi dan RBDPO	40
12	Hasil ANOVA two ways bilangan asam dengan kepercayaan 95%	43
13	Densitas minyak insulasi dan RBDPO pada suhu 20 °C	44
14	Hasil ANOVA two ways densitas dengan kepercayaan 95%	46
15	Nilai viskositas minyak insulasi dan RBDPO pada suhu 40 °C	47
16	Hasil ANOVA two ways viskositas dengan kepercayaan 95%	51
17	Nilai tegangan tembus minyak insulasi dan RBDPO	52
18	Hasil ANOVA two ways tegangan tembus dengan kepercayaan 95%	53



@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