

SKRIPSI

**PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP KARAKTERISTIK
TEGANGAN TEMBUS MINYAK MINERAL NYNAS NYTRO
LIBRA BERPENGISI Fe_3O_4 , MgCl_2 , DAN NaCl**



**Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Mendapatkan Gelar Sarjana
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

**BHANUNASMI BAHTIAR APTA
NIM. 03041382025116**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP KARAKTERISTIK
TEGANGAN TEMBUS MINYAK MINERAL NYNAS NYTRO LIBRA
BERPENGISI Fe_3O_4 , MgCl_2 , DAN NaCl**

Oleh:

**BHANUNASMI BAHTIAR APTA
NIM. 03041382025116**

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Palembang, November 2024

Ketua Jurusan Teknik Elektro,



M. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU

NIP. 197308141999031005

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP KARAKTERISTIK
TEGANGAN TEMBUS MINYAK MINERAL NYNAS NYTRO LIBRA
BERPENGISI Fe_3O_4 , MgCl_2 , DAN NaCl**


Oleh:

**BHANUNASMI BAHTIAR APTA
NIM. 03041382025116**

**Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disetujui untuk diujikan
guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektro**

Palembang, November 2024

Dosen Pembimbing,


Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D.
NIP. 195903031985031004

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Bhanunasmi Bahtiar Apta
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025116
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya
Persentase plagiarism (*Turnitin*) : 15%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Kelembaban Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Mineral Nynas Nytro Libra Berpengisi Fe_3O_4 , $MgCl_2$, dan $NaCl$ ”, merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat dari karya ilmiah orang lain, maka saya akan bertanggung jawab dan bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam kesadaran dan tanpa paksaan.

Palembang, November 2024

Yang Menyatakan,



Bhanunasmi Bahtiar Apta

NIM. 03041382025116

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas ini mencukupi sebagai skripsi.

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D. _____

Tanggal : November 2024 _____

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh kelembaban terhadap karakteristik tegangan tembus Minyak Mineral Nynas Nytro Libra berpengisi Fe_3O_4 , MgCl_2 , dan NaCl ”.

Adapun skripsi ini merupakan sebuah karya ilmiah yang dibuat sebagai syarat menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya agar mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Penyusunan skripsi ini dibuat berdasarkan pada kajian literatur, studi pustaka yang berkaitan, dan eksperimen serta pengambilan data secara langsung di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (TTTPL). Tentunya proses pembuatan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan pada materi yang dibahas. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas skripsi kedepannya.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya ilmu teknik elektro terkait dengan isolasi cair.

Palembang, November 2024
Yang Menyatakan,



Bhanunasmi Bahtiar Apta
NIM. 03041382025116

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ilmiah skripsi ini penulis dedikasi dan persembahkan, sebagai penghargaan, dan rasa hormat penulis kepada:

- Ibu Emy Rosdahniar yang selalu berjuang untuk anaknya serta kakak perempuanku Briliana Bopa Alivi terimakasih untuk selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam menjalani pendidikan ini;
- Terimakasih untuk Bapak, Bapak Nasuka S.pd;
- Bapak Prof. Ir.Zainuddin Nawawi, Ph.D., selaku dosen pembimbing;
- Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T., Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng., Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T., Dan Ibu Dr. Ir. Syarifa Fitria yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir skripsi;
- Rektor Universitas Sriwijaya Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si.;
- Dekan Fakultas Teknik Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.;
- Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU selaku ketua jurusan, Bapak dan Ibu dosen-dosen serta administrasi dan akademik Jurusan Teknik Elektro;
- Ibu Puspa Kurniasari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan waktu dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan dalam waktu 4 tahun (2020-2024) ini;
- Pranata dan senior di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Bapak Lukmanul Hakim, S.T., Kak Intan Dwi Putri S.T., dan Kak Ferlian Seftianto, S.T., M.Kom.;

- Temen-teman seperjuangan, seluruh anggota Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Dan Pengukuran Listrik, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Angkatan 2020 yaitu Fadlu, Raga, Elam, Meiwa, Muthia, Aldhi, Rangga, Adziin, Ridwan, Ryan, Hilman, Derry, Iqbal, Aldo, Rama, Sahrul, Ravi, Kurniawan, Lutfi, Eric, Trio, Ahmed, dan Mozmail yang telah terlibat dan mendukung penelitian;
- Aulia Azzahra, yang tak henti-hentinya senantiasa memberikan dukungan moral serta selalu meyakinkan dan menemani penulis selama menyusun hingga menyelesaikan skripsi ini dari awal hingga akhir.
- Sahabat kosan Kebun Sirih Satelit, Irvin , Wisnu ,Gemoy, Ridwan, Rama, Hilman, Etok , Bimbim, Dekjo;
- Sahabat PES ku di tanjung, Uden, Rojab, Al
- Geng Iwak seloto, Bowo, Uden, Nopal, Fajri, Fatur, Isan, Bramda, Rizki, Panji, Ari, Arep, gifari ;
- Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro Angkatan 2020, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya;
- Pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu penulis selama menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Palembang, November 2024
Yang Menyatakan,



Bhanunasmi Bahtiar Apta
NIM. 03041382025116

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bhanunasmi Bahtiar Apta
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025116
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Jenis Karya : Skripsi


Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul, "Pengaruh Kelembaban Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Mineral Nynas Nytro Libra Berpengisi Fe_3O_4 , $MgCl_2$, dan $NaCl$ " beserta perangkat yang ada.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Palembang, November 2024
Yang Menyatakan,


Bhanunasmi Bahtiar Apta
NIM. 03041382025116

ABSTRAK

PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS MINYAK MINERAL NYNAS NYTRO LIBRA BERPENGISI Fe_3O_4 , MgCl_2 , DAN NaCl

(Bhanunasmī Bahtiar Apta, 03041382025116, 2024, xx + 48 halaman + lampiran)

Skripsi ini melaporkan hasil penelitian pengaruh dari kelembaban terhadap karakteristik tegangan tembus minyak mineral nynas nytro libra sebagai minyak isolasi dengan ditambah beberapa pengisi seperti Fe_3O_4 , MgCl_2 , dan NaCl pada kelembaban relatif yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan terhadap sampel *nynas nytro libra oil* dengan penambahan tiga pengisi pada konsentrasi 0,05;0,1;0,2 dalam g/L untuk masing-masing pengisi, serta dilakukan pengujian *nynas nytro libra oil* tanpa pengisi sebagai kontrol dengan variasi kelembaban relatif yang serupa pada tiap pengisi yang berguna sebagai pembanding. Selanjutnya dilakukan pengujian tegangan tembus terhadap sampel dengan standar IEC-60156 menggunakan *test cell* bervolume 350 ml dengan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13mm dan jarak sela antar elektroda 2,5mm. Hasil pengujian dengan nilai rata-rata yang didapatkan pada sampel dengan pengkondisian kelembaban relatif pada masing-masing pengisi yakni 10% untuk Fe_3O_4 , 33% untuk MgCl_2 , dan 75% untuk NaCl secara berturut turut yakni 45,78 kV, 42,12 kV, 35,68 kV. Kemudian, pada konsentrasi 0,05 g/L pada tiap-tiap pengisi Fe_3O_4 , MgCl_2 , dan NaCl didapatkan nilai rata-rata secara berturut turut 37,58 kV, 32,08 kV, 32,34 kV. Selanjutnya untuk konsentasi 0,1 g/L pada tiap-tiap pengisi Fe_3O_4 , MgCl_2 , dan NaCl didapatkan nilai rata-rata secara berturut turut 60,52 kV, 28,8 kV, 24,16 kV. Serta pada konsentrasi terakhir 0,2 g/L pada tiap-tiap pengisi Fe_3O_4 , MgCl_2 , dan NaCl didapatkan nilai secara berturut-turut 62,08 kV, 25,56 kV, 17,92 kV. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kelembaban rendah nilai tegangan tembus akan meningkat dan sebaliknya pada kelembaban tinggi mengalami penurunan. Karakteristik dari penambahan bahan pengisi Fe_3O_4 dengan minyak mineral nynas nytro libra dapat meningkatkan nilai tegangan tembus sebaliknya dengan penambahan pengisi garam MgCl_2 dan NaCl nilai tegangan tembus minyak mineral nynas nytro libra mengalami penurunan.

Kata Kunci: *Nynas nytro libra oil, Ferrit magnetic, Magnesium chloride, Natrium chloride, Tegangan tembus, Kelembaban Relatif, Minyak Transformator*

ABSTRACT

THE EFFECT OF MOISTURE ON THE BREAKDOWN VOLTAGE CHARACTERISTICS OF NYNAS NYTRO LIBRA MINERAL OIL FILLED WITH Fe_3O_4 , MgCl_2 , AND NaCl

(Bhanunasmī Bahtiar Apta, 03041382025116, 2024, xx + 48 page + appendix)

This thesis reports the results of the research effect of moisture on the characteristics of the breakdown voltage of mineral oil nynas nytro libra as an insulating oil with the addition of several fillers such as Fe_3O_4 , MgCl_2 , and NaCl at different relative humidity. The tests were carried out on samples of nynas nytro libra oil with the addition of three fillers at concentrations of 0.05, 0.1, 0.2 g / L for each filler and testing of nynas nytro libra oil without filler as a control with similar relative humidity variations in each filler which is useful as a comparison. Furthermore, breakdown voltage testing was carried out on samples with IEC-60156 standards using a 350 ml test cell with a 13mm diameter ball electrode system and a distance between electrodes of 2.5mm. The test results obtained on samples with relative humidity conditioning on each filler, namely 10% for Fe_3O_4 , 33% for MgCl_2 , and 75% for NaCl , respectively, were 45,78 kV, 42,12 kV, 35,68 kV. Then, at a concentration of 0.05 g/L on each filler of Fe_3O_4 , MgCl_2 , and NaCl , the results of BDV show were respectively 37,58 kV, 32,08, 32,34 kV. Furthermore, for a concentration of 0.1 g/L in each filler of Fe_3O_4 , MgCl_2 , and NaCl , the results obtained were 60,52 kV, 28,8 kV, 24,16 kV respectively. And at the last concentration of 0.2 g/L in each filler of Fe_3O_4 , MgCl_2 , and NaCl , the results obtained were 62.08 kV, 25.56 kV, 17.92 kV respectively. These results indicate that at low humidity the breakdown voltage value will increase and on the contrary at high humidity it will decrease. The characteristics of the addition of Fe_3O_4 filler with Nynas Nytro Libra mineral oil can increase the breakdown voltage value, conversely with the addition of MgCl_2 and NaCl salt fillers, the breakdown voltage value of Nynas Nytro Libra mineral oil decreases.

Keywords : Nynas nytro libra oil, Ferrit magnetic, Magnesium chloride, Natrium chloride, Breakdown Voltage , Relative Humidity, Transformer Oil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR PERSAMAAN	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
NOMENKLATUR	xix
DAFTAR ISTILAH	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Isolator	6
2.2 Dielektrik Cair	6
2.3 Minyak Mineral	7
2.4 Minyak Nynas Nytro Libra	10
2.5 Magneisum Clorida ($MgCl_2$)	10
2.6 Natrium Clorida ($NaCl$)	11
2.7 Ferrit Magnetic (Fe_3O_4)	11
2.8 Kekuatan Dielektrik	12
2.9 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair	12
2.10 Penelitian Sebelumnya	17

BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL	21
3.1. Pendahuluan	21
3.2 Metodologi	21
3.3 Diagram alir penelitian	23
3.4 Bahan penelitian	24
3.4.1 Minyak Nynas Nytro Libra	24
3.4.2 Magnesium Chlorida (MgCl ₂).....	25
3.4.3 Natrium Chlorida (NaCl)	26
3.4.4 Ferrit Magnetic (Fe ₃ O ₄).....	27
3.5 Peralatan pengujian	28
3.5.1 Sistem Elektroda.....	28
3.5.2 Transformator Tegangan Tinggi Bolak-Balik	29
3.5.3 Neraca Digital	29
3.5.4 <i>Vacuum Drying Oven</i>	29
3.5.5 <i>Magnetic Stirer</i>	30
3.5.6 <i>Higrometer Digital</i>	30
3.5.7 <i>Glass Beaker</i>	31
3.5.8 Bejana Galvanis	31
3.5.9 Tahanan Tinggi	31
3.6 Persiapan Sampel Uji	32
3.6.1 Proses Penyiapan Sampel Uji.....	32
3.7 <i>Experimental Setup</i>	34
3.7.1 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus	34
3.8 Prosedur Pengujian.....	35
BAB IV	37
HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Umum.....	37
4.2 Data Hasil Penelitian	37

4.3 Diskusi.....	42
BAB V	46
PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	22
LAMPIRAN	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik hubungan tegangan tembus dan jarak sela.....	14
Gambar 2.2 Kekuatan penguraian minyak pada fungsi kadar air	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Minyak Mineral Nynas Nytro Libra	24
Gambar 3.3 Magnesium Clorida ($MgCl_2$)	25
Gambar 3.4 Natrium Clorida ($NaCl$)	26
Gambar 3.5 Ferrit Magnetic (Fe_3O_4)	27
Gambar 3. 6 (a) Desain 3D sistem elektroda bola-bola (b) test cell dengan elektroda bola-bola	28
Gambar 3. 7 Neraca Digital	29
Gambar 3. 8 Vacuum Drying Oven	29
Gambar 3. 9 Magnetic Stirer.....	30
Gambar 3. 10 Higrometer digital	30
Gambar 3. 11 Glass Beaker	31
Gambar 3. 12 Bejana Galvanis	31
Gambar 3. 13 Alur Proses Pembuatan Sampel Uji	33
Gambar 3. 14 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus	34
Gambar 4.1 Tegangan tembus sampel NNL Oil + $Mgcl_2$ untuk RH 33% ..	38
Gambar 4.2 Tegangan tembus sampel NNL Oil + $NaCl$ untuk RH 75% ...	39
Gambar 4.3 Tegangan tembus sampel NNL Oil + Fe_3O_4 untuk RH 10% ..	40
Gambar 4. 4 Perbandingan nilai rata-rata tegangan tembus isolasi NNL Oil dengan pengisi pada pengkondisian RH minyak 10%, 33%, dan 75%	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Minyak Transformator IEC60296:2021.	8
Tabel 2.2 Penelitian Sebelumnya.....	17
Tabel 3.1 Karakteristik Minyak Mineral Nynas Nytro Libra	24
Tabel 3.2 Karakteristik Magnesium Clorida ($MgCl_2$)	25
Tabel 3.3 Karakteristik Natrium Clorida ($NaCl$)	26
Tabel 3.4 Karakteristik Ferrit Magnetic (Fe_3O_4).	27

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1.....	12
Persamaan 2.2.....	13
Persamaan 2.3.....	14
Persamaan 2.4.....	15
Persamaan 2.5.....	15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi sampel
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian
Lampiran 3	Rekaman Hasil Pengujian Tegangan Tembus
Lampiran 4	Pengolahan Data Tegangan Tembus
Lampiran 5	Lembar Plagiarisme
Lampiran 6	SULIET/USEPT

NOMENKLATUR

- E = Kuat medan listrik yang mampu ditahan material isolasi (kV/mm)
- V = Tegangan maksimum yang tercatat alat ukur (kV)
- d = Gap atau jarak celah antar elektroda (mm)
- E_0 = Kekuatan medan cairan yang terdapat gelembung udara
- σ = Tegangan permukaan cairan
- ϵ_1 = Permittivitas cairan
- ϵ_2 = Permittivitas gelembung udara
- r = Jari-jari gelembung
- V_b = Tegangan Tembus
- A = Konstanta
- n = Nilai konstanta (0,947)
- V_s = Tegangan tembus dalam keadaan normal (volt)
- V_b = Tegangan tembus sebenarnya (volt)
- δ = Faktor koresi udara (mmHg/°C)
- p = Tekanan udara (mmHg)
- p_0 = Standar tekanan udara (760 mmHg)
- t_0 = 20°C
- t = Suhu ruangan saat pengujian (°C)

DAFTAR ISTILAH

<i>Mineral Oil</i>	= Minyak mineral
<i>Transformer Oil</i>	= Minyak transformator
<i>Viscosity</i>	= Viskositas
<i>Water Content</i>	= Kadar air
<i>Breakdown Voltage</i>	= Tegangan tembus
<i>Density</i>	= Kepadatan
<i>Flash Point</i>	= Titik nyala
<i>Mollar Mass</i>	= Massa molar
<i>Melting Point</i>	= Titik lebur
<i>Boiling Point</i>	= Titik didih
<i>Pour Point</i>	= Titik tuang
<i>Interfacial Tension</i>	= Tegangan antarmuka
<i>Oxidation Stabililty</i>	= Stabilitas oksidasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolasi cair banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai isolasi inti karena memiliki fungsi sebagai pemisah secara elektrik dua buah penghantar, pendingin transformator daya, peredam busur listrik, serta pelarut gas yang timbul [1]. Hal ini dikarenakan transformator daya merupakan salah satu komponen utama dari sistem kelistrikan. Kekuatan dielektrik dalam isolasi cair setara dengan tegangan yang terjadi. Kekuatan dielektrik cair berkisar antara 10^7V/cm yang dijelaskan dalam hukum paschen [2].

Dibandingkan dengan dielektrik gas dielektrik cair mempunyai kerapatan 1000 kali lebih besar. Volume ruang yang di isolasi dalam dielektrik cair secara simultan akan mendispasikan secara konveksi panas yang timbul. Dasar dielektrik cair sendiri harus memiliki sifat dielektrik yang baik, karakteristik perpindahan panas yang bagus dan memiliki struktur kimia yang stabil selama pengoperasian [3].

Adapun material isolasi cair yang umum digunakan merupakan jenis minyak mineral, minyak ini didapatkan melalui pengolahan minyak bumi yaitu fraksi antara minyak diesel dan turbin serta minyak mineral memiliki struktur kimia sangat kompleks. [4].

Minyak mineral nynas nytro libra adalah salah satu jenis minyak mineral transformator yang dipakai di Indonesia serta telah mendapatkan persetujuan dari PLN. Minyak nynas nytro libra memiliki keunggulan yaitu minyak trafo tanpa hambatan yang memenuhi IEC 60296. Minyak ini dikembangkan dan diformulasikan sebagai minyak transformator dengan memiliki ketahanan yang baik terhadap degradasi minyak, termasuk oksidasi,

korosi, dan pengendapan [5]. Namun kekurangan dari dielektrik cair yaitu mudah terkontaminasi dengan partikel lain yang dapat menurunkan kekuatan isolasi [6].

Pada minyak transformator berbahan baku minyak mineral, rentan mengalami terbentuknya gelembung udara, hal ini terjadi dikarenakan suhu yang terlalu tinggi, tingkat kelembaban yang tinggi, *discharge*, dan dekomposisi material [7]. kelembaban dapat memiliki dampak signifikan pada karakteristik material isolasi cair, seperti tegangan tembus dan kekuatan dielektrik. Gelembung udara pada isolasi cair dapat tercipta akibat kenaikan suhu yang tinggi, sehingga dapat mengakibatkan terciptanya gelembung [8].

Untuk meningkatkan kinerja dari minyak mineral transformator S. Li, M. Karlsson et al (2015). mengemukakan bahwa beberapa nanopartikel memiliki kekuatan pemecahan dielektrik atau konduktivitas termal yang jauh lebih besar daripada induknya, Pencampuran nanopartikel berbasis minyak transformator dilakukan dengan mendispersikan nanopartikel ke dalam minyak transformator [9].

Nanopartikel yang akan dipakai untuk pencampuran dengan minyak mineral pada penelitian ini yakni Fe_3O_4 dikarenakan dispersi nanopartikel ferit (Fe_3O_4) dapat menjadi pendingin pada minyak mineral transformator sehingga menyebabkan minyak tidak mudah terbakar [10].

Sedangkan untuk pengisi garam seperti MgCl_2 dan NaCl pada isolator polimer biasanya berperan sebagai lapisan pengotor yang menempel pada permukaan isolator, Secara umum lapisan pengotor ini memiliki dua komponen, komponen lembab serta kompoen bersifat konduktif. Komponen konduktif yang paling sering dijumpai terdiri dari garam-garam yang dapat terurai menjadi ion-ion seperti natrium clorida (NaCl), magnesium clorida (MgCl_2), dan lain-lain. Larutan garam ini akan mempengaruhi unjuk kerja

isolator apabila menempel pada permukaan isolator dalam bentuk lapisan tipis konduktif [11].

Komponen yang bersifat lembab dari bahan pencemar adalah bahan yang padat dan tidak dapat larut menjadi ion-ion, misalnya debu-debu semen atau tanah. Bahan-bahan tersebut membentuk ikatan mekanis yang akan mempersulit proses pencucian permukaan secara alamiah [11].

Pada penelitian ini dampak kelembaban terhadap kekuatan dielektrik cairan yang dibuat dengan konsentrasi nanopartikel berbeda dievaluasi dan dibandingkan dengan cairan dasar. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh nanopartikel dengan pengkondisian kelembaban relatif pada tegangan tembus dibandingkan dengan minyak mineral murni [10].

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa penelitian mengenai campuran minyak mineral trafo dengan nanopartikel yang telah dilakukan sebelumnya, fokus terhadap volume campuran dan kekuatan tegangan tembus. Sehingga untuk mempelajari kinerja tegangan tembus terhadap minyak mineral trafo perlu dilakukan. Dalam penelitian ini, berisikan hasil dari pengaruh penambahan nanopartikel Fe_3O_4 terhadap tegangan tembus ketika dilakukan pencampuran dengan minyak mineral nynas nytro libra, serta mengamati pengaruh garam MgCl_2 dan NaCl dengan variasi konsentrasi 0,05;0,1;0,2g/L selanjutnya dilakukan pengkondisian sampel dengan kelembaban relatif 10% untuk Fe_3O_4 33%, untuk MgCl_2 , dan 75%, untuk NaCl terhadap tegangan tembus minyak mineral trafo nynas nytro libra.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan karakteristik pengaruh nanopartikel Fe_3O_4 serta MgCl_2 dan NaCl sebagai pengisi terhadap tegangan tembus dari minyak mineral nynas nytro libra.
2. Mendapatkan perbandingan nilai tegangan tembus minyak mineral nynas nytro libra diberi pengisi nanopartikel Fe_3O_4 , serta MgCl_2 dan NaCl pada konsentrasi yang berbeda.
3. Mendapatkan pengaruh kelembaban terhadap tegangan tembus minyak mineral nynas nytro libra dengan pengisi nanopartikel masing-masing yang berbeda beda yaitu Fe_3O_4 , MgCl_2 dan NaCl .

1.4 Batasan Masalah

1. Pengujian melibatkan penggunaan sampel material isolasi cair dimana minyak mineral nynas nytro libra digunakan sebagai bahan isolasi cair.
2. Sampel uji berupa minyak mineral nynas nytro libra yang digunakan untuk setiap pengujian dengan volume 350 ml. Dengan penambahan pengisi nanopartikel Fe_3O_4 , MgCl_2 dan NaCl dengan rasio persentase berat terhadap volume sampel uji masing-masing adalah 0,05;0,1;0,2 g/L.
3. Minyak mineral nynas nytro libra dan pengisi nanopartikel Fe_3O_4 , MgCl_2 , Dan NaCl dikondisikan pada tiga kondisi kelembaban relatif (RH) yang berbeda yaitu 10% untuk Fe_3O_4 , 33% untuk MgCl_2 , dan 75% untuk NaCl pada tiap konsentrasi nanopartikel.
4. Pengujian Tegangan Tembus dilakukan berdasarkan standar IEC 60156 menggunakan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13 mm dengan jarak sela sebesar 2,5 mm.
5. Laju kenaikan tegangan sampai terjadinya tembus pada sela elektroda adalah 1 kV/s. Untuk stabilitas cairan dari pengaruh partikel di dalam

minyak, antara pengujian satu dan lainnya digunakan jeda selama minimal 1 (satu) menit untuk setiap pengujian.

1.5 Hipotesis

Pada penelitian ini pengaruh dari penambahan nanopartikel Fe_3O_4 dengan kelembaban relatif 10% dapat meningkatkan tegangan tembus minyak mineral nynas nytro libra, hal ini didasarkan nanopartikel Fe_3O_4 dapat mengikat jumlah molekul air yang terkandung dalam minyak mineral nynas nytro libra, serta nanopartikel MgCl_2 dan NaCl dengan kelembaban relatif 33% dan 75% dapat mempengaruhi jenjang nilai rise time tegangan tembus dari minyak mineral nynas nytro libra dikarenakan kedua nanopartikel ini merupakan senyawa ionik dan merupakan molekul polar yang larut dalam air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. Oksa Winanta, A. A. N. Amrita, and W. G. Ariastina, "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 10, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p02.
- [2] W. Y. Kunto Wibowo and A. Syakur, "Analisis karakteristik breakdown voltage pada dielektrik minyak shell diala b pada suhu 30 0 C-130 0 C," *Dipenogoro Univ.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2011.
- [3] S. Agustina and M. R. Malau, "Evaluasi Kandungan Air Terhadap Telah Melalui Proses Transesterifikasi Transformator," vol. 1, no. 3, pp. 32–36, 2014.
- [4] S. Samsurizal, A. Makkulau, and S. A. Zahra, "Studi Pengujian Karakteristik Minyak Nabati Terhadap Tegangan Tembus Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Trafo," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 11, no. 1, pp. 81–89, 2022, doi: 10.36055/setrum.v11i1.14051.
- [5] Nynas, "Nytro Libra," *Nynas*, pp. 0–1, 2014, [Online]. Available: <http://www.nynas.com/en/product-areas-solutions/transformer-oils/oils/>
- [6] D. Gunawan, M. Suyanto, and W. Handajadi, "Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Dengan Elektroda Setengah Bola, Batang dan Jarum," *J. Elektr. Vol. 2 No.2*, vol. 2, pp. 70–78, 2015.
- [7] Rui Zhang; Qiaogen Zhang; Chong Guo; Xiaohui He; Zhicheng Wu, "Bubbles in Transformer Oil: Dynamic Behavior, Internal Discharge, and Triggered Liquid Breakdown," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 29, no. 1, pp. 86–94, 2022.
- [8] Y. Zhang, X. Tao, C. Pan, and J. Tang, "Role of air bubbles in the breakdown of flowing transformer oil," *IEEE Trans. Dielectr. Electr.*

- Insul.*, vol. 27, no. 5, pp. 1752–1760, 2020, doi: 10.1109/TDEI.2020.008995.
- [9] S. Li, M. Karlsson, R. Liu, A. Ahniyaz, A. Fornara, and E. J. Salazar-Sandoval, “The effect of ceria nanoparticles on the breakdown strength of transformer oil,” *Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater.*, vol. 2015-October, no. November, pp. 289–292, 2015, doi: 10.1109/ICPADM.2015.7295265.
- [10] V. A. Primo, B. Garcia, D. Perez, and J. C. Burgos, “Analysing the impact of Moisture on the AC breakdown voltage of Fe₃O₄ Based Nanodielectric Fluids,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Dielectr. Liq.*, vol. 2018-June, pp. 0–3, 2018, doi: 10.1109/ICDL.2019.8796675.
- [11] Armansyah, “Analisa Pengaruh Endapan Polutan Garam Pada Isolator Terhadap Arus Bocor,” *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 76–84, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/4391%0Ahttps://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/download/4391/3167>
- [12] “150595-ID-kegagalan-isolasi-minyak-trafo.”
- [13] R. Kamerlisa Putra *et al.*, “Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair,” *Jom FTEKNIK*, vol. 4, p. 1, 2017.
- [14] J. Jumardin, J. Ilham, and S. Salim, “Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 40–48, 2019, doi: 10.37905/jjee.v1i2.2881.
- [15] I. Atanasova-Höhlein, “IEC 60296 (Ed. 5)–a standard for classification of mineral insulating oil on performance and not on the origin,” *Transform. Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 86–91, 2021.
- [16] N. Andayani *et al.*, “Analisis Water Content Dan Breakdown Voltage

Pada Isolasi Minyak Nynas Nytro Libra Dengan Variasi Zat Aditif Fenol,” *Jur. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2020, [Online]. Available:

<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/42560>

- [17] G. Battaglia *et al.*, “Analysis of particles size distributions in Mg(OH)₂ precipitation from highly concentrated MgCl₂ solutions,” *Powder Technol.*, vol. 398, p. 117106, 2022, doi: 10.1016/j.powtec.2021.117106.
- [18] A. L. I. Putra and D. Fauziah, “Studi Arus Bocor Isolator Porcelain Akibat Polutan Magnesium Klorida,” pp. 1–8.
- [19] S. Arossa, S. G. Klein, A. J. Parry, M. Aranda, and C. M. Duarte, “Assessing Magnesium Chloride as a Chemical for Immobilization of a Symbiotic Jellyfish (*Cassiopea* sp.),” *Front. Mar. Sci.*, vol. 9, no. April, pp. 1–9, 2022, doi: 10.3389/fmars.2022.870832.
- [20] R. Hidayati and R. Zainul, “Studi Termodinamika Transpor Ionik Natrium Klorida Dalam Air dan Campuran Tertentu,” *J. Pendidik. Kim.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [21] I. P. T. Indrayana, “Review Fe₃O₄ Dari Pasir Besi : Sintesis, Karakterisasi Dan Fungsionalisasi, Hingga Aplikasinya Dalam Bidang Nanoteknologi Maju,” *J. UNIERA*, vol. 8, no. 2, pp. 65–75, 2019.
- [22] A. Tegangan and T. Minyak, “Sebagai Isolasi Cair Dengan Elektroda Breakdown Voltage Analysis of Mixed Oil As,” 2016.
- [23] T. Mariprasath and M. Ravindaran, “An Experimental Study of Partial Discharge Analysis on Environmental Friendly Insulating Oil as Alternate Insulating Material for Transformer,” *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 47, no. 4, pp. 1–13, 2022, doi: 10.1007/s12046-022-01946-8.

- [24] N. Rosyidi and Deki, "Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo," *Sinusoida*, vol. XXIII No., no. 2, pp. 1–31, 2021.
- [25] *High Voltage Engineering*, vol. 15, no. 5. 1995. doi: 10.1109/MPER.1995.384315.
- [26] A. A. Suleiman, N. A. Muhamad, N. Bashir, N. S. Murad, Y. Z. Arief, and B. T. Phung, "Effect of moisture on breakdown voltage and structure of palm based insulation oils," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 21, no. 5, pp. 2119–2126, 2014, doi: 10.1109/TDEI.2014.004431.
- [27] V. A. Primo, B. Garcia, D. Perez, and J. C. Burgos, "Analysing the impact of Moisture on the AC breakdown voltage on natural ester based nanodielectric fluids," *Proc. - IEEE Int. Conf. Dielectr. Liq.*, vol. 2019-June, no. Icdl, pp. 23–26, 2019, doi: 10.1109/ICDL.2019.8796675.
- [28] C. Qin, Y. Xue, J. Shang, C. Che, and L. Liu, "Study on breakdown characteristics of nano-modified transformer oil at low temperature," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1338–1343, 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.05.205.
- [29] Wildayati and R. Zainul, "Magnesium Klorida (MgCl₂): Karakteristik dan Dinamika Molekuler Pada MgCl₂," *J. Pendidik. Kim.*, vol. 2, no. 91, pp. 1–35, 2019, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.31227/osf.io/g3w8p>
- [30] A. K. Das, "Analysis of AC breakdown strength of vegetable oils and effect of mineral oil," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 214, no. PA, p. 108920, 2023, doi: 10.1016/j.epr.2022.108920.
- [31] Y. Lv, Y. Zhou, C. Li, Q. Wang, and B. Qi, "Recent progress in nanofluids based on transformer oil: Preparation and electrical insulation properties," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 30, no. 5, pp.

23–32, 2014, doi: 10.1109/MEI.2014.6882597.

- [32] “Saturated Salt and Solutions Relative Humidity.” The Engineering Toolbox.
- [33] A. Puteri, *Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Jenis Mineral*. 2017. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/223125763.pdf>