

**SKRIPSI**

**PENGARUH TEMPERATUR RENDAH PADA ISOLASI MINYAK  
DIALA B DALAM MENAHAN STRESS TEGANGAN**



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

**Oleh:**

**DERRY JULIANSYAH  
NIM. 03041182025015**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH TEMPERATUR RENDAH PADA ISOLASI MINYAK  
DIALA B DALAM MENAHAN STRESS TEGANGAN**

Oleh:

**DERRY JULIANSYAH  
NIM. 03041182025015**

**Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan**

**Palembang, November 2024  
Ketua Jurusan Teknik Elektro,**



**Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU.  
NIP. 197108141999031005**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH TEMPERATUR RENDAH PADA ISOLASI MINYAK  
*DIALA B* DALAM MENAHAN STRESS TEGANGAN**

**Oleh:**

**DERRY JULIANSYAH  
NIM. 03041182025015**

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

**Palembang, November 2024  
Dosen Pembimbing,**



**Ir. Dwirina Yuniarti, M.T.  
NIP. 196106181989032003**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Derry Juliansyah  
Nomor Induk Mahasiswa : 030411820251015  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya  
Persentaseplagiarism (*Turnitin*) : 9%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur Rendah Pada Isolasi Minyak *Diala B* Dalam Menahan Stress Tegangan” 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,



Derry Juliansyah

NIM. 03041182025015

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 : Ir. Dwirina Yuniarti, M.T.  
\_\_\_\_\_

Tanggal : November 2024  
\_\_\_\_\_

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang syafa'atnya kita harapkan di kemudian hari.

Alhamdulillah atas berkat ridho dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh temperatur rendah pada isolasi Minyak *Diala B* dalam menahan stress tegangan”. 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.

Skripsi ini disusun berdasarkan kajian literatur, serta eksperimen dan pengumpulan data langsung di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk meningkatkan kualitas skripsi ini.

Palembang, November 2024



Derry Juliansyah  
NIM. 03041182025015

## HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- Bapak Ikhsan (Ayah), Ibu Siti Zubaidah (Ibu), Adik Resha Wulandari, Bibi Iha, Bibi Ana, Bibi Rumiana dan keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan ini;
- Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T., Bapak Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D. Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng., Ph.D. Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Ir. Syarifa Fitria, S.T. 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;
- Dr. Iwan Pahendra Anto S, 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, Pak Lukmanul Hakim, S.T., Kakak Intan Dwi Putri, S.T., dan Kakak Ferlian Sefianto, S.T., M.Kom.;

- Temen-teman seperjuangan, seluruh anggota Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Angkatan 2020 yaitu Fadlu, Bhanunasmu, Elam, Meiwa, Muthia, Aldhi, Rangga, Adziin, Ridwan, Ryan, Hilman, Raga, Iqbal, Aldo, Rama, Sahrul, Ravi, Kurniawan, Lutfi, Eric, Trio, Ahmed, dan Mozmail yang telah terlibat dan mendukung penelitian;
- Ayu Nurhaliza, yang selalu memberikan dukungan moral dan setia menemani penulis sepanjang proses penyusunan hingga penyelesaian skripsi ini dari awal sampai akhir.
- Sahabat kosan kosong Ridho, Iqbal Fahlefi, Muhammad Iqbal, Adib, Sahrul, Trio, Fadlu dan Aldo.
- Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro Angkatan 2020, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya;
- Pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis berdoa kepada Allah SWT, semoga diberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Palembang, November 2024



Derry Juliansyah  
NIM. 03041182025015



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Derry Juliansyah  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041182025015  
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 temperatur rendah pada isolasi Minyak *Diala B* dalam menahan stress tegangan” 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,



Derry Juliansyah  
NIM. 03041182025015



## ABSTRAK

### **PENGARUH TEMPERATUR RENDAH PADA ISOLASI MINYAK *DIALA B* DALAM MENAHAN STRESS TEGANGAN**

(Derry Juliansyah, 03041182025015, 2024, xx + 37 halaman + lampiran)

---

---

Penelitian ini membahas pengaruh temperatur rendah pada minyak isolasi *Diala B* dalam menahan stress tegangan. Temperatur rendah yang akan digunakan pada pengujian ini adalah 20°C; 15°C; dan 10°C. Pengujian tegangan tembus dilakukan menggunakan sumber tegangan AC dengan menggunakan elektroda setengah bola berjarak sela 2,5 mm mengikuti standar IEC 60156 dengan laju kenaikan tegangan sebesar 1 kV/s dan pengukuran resistivitas menggunakan tegangan DC sebesar 500V dengan elektroda bidang-bidang berjarak sela 2 mm sesuai dengan standar IEC 60247. Hasil pengukuran resistivitas ditemukan bahwa semakin rendah temperatur yang diterapkan, semakin besar nilai resistivitas minyak tersebut. Hal ini disebabkan oleh pergerakan molekul dalam sampel yang melambat pada suhu yang lebih rendah, sehingga meningkatkan resistansi terhadap aliran arus listrik. Lalu pada pengujian tegangan tembus ditemukan bahwa pada temperatur rendah tembus tegangan lebih mudah terjadi. Penurunan ini terjadi karena terbentuknya uap air pada suhu rendah, yang menciptakan kanal peluahan di antara elektroda dan mempermudah terjadinya tembus listrik.

**Kata Kunci:** *Shell Diala B*, Minyak mineral, Temperatur rendah, Resistivitas, Tegangan Tembus.

**ABSTRACT**  
**EFFECT OF LOW TEMPERATURE ON INSULATING OIL *DIALA B***  
**UNDER VOLTAGE STRESS**

(Derry Juliansyah, 03041182025015, 2024, xx + 37 pages + appendix)

---

---

This research discusses the effect of low temperature on Diala B insulating oil in resisting stress. The temperatures that will be used in this test are 20°C; 15°C; and 10°C. Testing the breakdown voltage test was conducted using an AC voltage source with a half-sphere electrodes spaced 2.5 mm apart following the IEC 60156 standard with a voltage rate of voltage increase of 1 kV/s and resistivity measurements using a DC voltage of 500V with electrodes. DC voltage of 500V with plane electrodes spaced at 2 mm intervals in accordance with IEC 60247 standard. The resistivity measurement results found that the lower the temperature applied, the greater the resistivity value of the oil. This is due to molecular movement in the sample which slows down at lower temperatures, thus increasing the resistance to the flow of electric current. Then in the test the breakdown voltage it was found that at low temperatures breakdown voltage is more easier to occur. This decrease occurs due to the formation of water vapor at low temperatures, which creates an temperature, which creates a vaporization channel between the electrodes and makes it easier for electrical breakdown to occur.the occurrence of electrical breakdown.

**Keywords:** *Shell Diala B*, Mineral oil, Low temperature, Resistivity, Breakdown voltage.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>NOMENKLATUR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Hipotesis Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Isolator.....	5

2.2 Kekuatan Dielektrik .....	6
2.3 Dielektrik Cair.....	6
2.4 Resistivitas .....	7
2.5 Minyak Mineral.....	9
2.6 Minyak <i>Diala B</i> .....	10
2.7 Kekuatan Tembus.....	11
2.8 Pengaruh Temperatur pada Minyak Transformator .....	12
2.9 Penelitian yang Relevan .....	13
<b>BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL .....</b>	<b>17</b>
3.1 Pendahuluan .....	17
3.2 Metode Penelitian.....	17
3.3 Diagram Alir .....	17
3.4 Bahan yang digunakan .....	19
3.4.1 Minyak Mineral ( <i>Diala B</i> ) .....	19
3.5 Peralatan yang digunakan.....	19
3.5.1 <i>Test Cell</i> .....	19
3.5.2 <i>Conditioning Temperature Chamber</i> .....	20
3.5.3 <i>Thermometer</i> .....	21
3.5.4 Sistem Elektroda .....	21
3.5.5 Pembangkit Tegangan Tinggi Bolak-Balik.....	22
3.5.6 Pembangkit Tegangan Tinggi Searah .....	22
3.5.7 <i>Femto/Picoammeter</i> Seri B2981A.....	23

3.5.8 <i>Glass Beaker</i> .....	23
3.6 <i>Experimental Setup</i> .....	24
3.6.1 Rangkaian Pengujian Resistivitas .....	24
3.6.2 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus .....	27
3.7 Pengkondisian Sampel Uji .....	29
3.8 Prosedur Pengujian.....	29
3.8.1 Pengujian Resistivitas .....	29
3.8.2 Pengujian Tegangan Tembus .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Umum.....	31
4.2 Data hasil Penelitian.....	31
4.3 Diskusi.....	34
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>36</b>
5.1 Kesimpulan .....	36
5.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	18
Gambar 3.2 Minyak Diala B S4 ZX-1 .....	19
Gambar 3.3 Test Cell .....	20
Gambar 3.4 Tampak atas Test Cell .....	20
Gambar 3.5 Tampak depan Conditioning Temperature Chamber .....	21
Gambar 3.6 Tampak dalam Conditioning Temperature Chamber .....	21
Gambar 3.7 Sistem Elektroda Setengah Bola .....	22
Gambar 3.8 Sistem Elektroda Bidang-bidang .....	22
Gambar 3.9 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi DC Dengan Transformator Flyback.....	25
Gambar 3.10 Rangkaian Pengukuran Resistivitas .....	26
Gambar 3.11 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus .....	27
Gambar 3.12 Pengkondisian Sampel .....	29

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Resistivitas Minyak Transformator .....	8
Tabel 2.2 Spesifikasi Minyak Isolasi Menurut Standar IEC 60296: 2012..	10



## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1.....	8
Persamaan 2.2.....	8

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tahapan pengkondisian sampel
- Lampiran 2 Tabel data hasil pengukuran tegangan tembus dan resistivitas
- Lampiran 3 Hasil pengukuran nilai tegangan tembus
- Lampiran 4 Pengolahan data hasil pengujian tegangan tembus
- Lampiran 5 Pengolahan data hasil pengujian tegangan tembus minyak  
*Diala B*
- Lampiran 6 Nilai Resistivitas Minyak *Diala B*
- Lampiran 7 Lembar plagiarisme *Turnitin*
- Lampiran 8 SULIET/USEPT

## NOMENKLATUR

$V_s$	= Tegangan tembus dalam keadaan normal (volt)
$V_b$	= Tegangan tembus sebenarnya (volt)
$\delta$	= 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)
$V$	= Nilai tegangan terukur (V)
$R$	= Resistansi (Ohm)
$I_b$	= Arus bocor (Ampere)
$\rho$	= Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )
$A$	= Luas permukaan elektroda ( $\text{m}^2$ )
$L$	= Jarak sela elektroda pengukuran (m)

## DAFTAR ISTILAH

<i>Void</i>	: Rongga udara
<i>Breakdown</i>	: Tembus tegangan
<i>Lifetime</i>	: Masa pakai
<i>Solid</i>	: Padat
<i>Liquid</i>	: Cair
<i>Gas</i>	: Udara
<i>Flashover</i>	: Percikan api
<i>Self-healing</i>	: Memperbaiki diri sendiri
<i>Over-heating</i>	: Panas berlebih
<i>Experimental Setup</i>	: Rangkaian pengujian
<i>Conditioning Temperature Chamber</i>	: Tempat pengkondisian temperatur

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara yang terletak dikawasan tropis, dikenal dengan temperatur hangat dan iklim yang lembab sepanjang tahun. Namun dalam keragaman geografisnya terdapat beberapa daerah di Indonesia yang memiliki temperatur yang lebih dingin dibandingkan dengan wilayah-wilayah lainnya. Berdasarkan data BMKG yang dimuat dalam artikel kompas.com temperatur terendah di Indonesia berkisar antara 10-25° Celcius, bahkan pada malam hari temperatur di beberapa daerah seperti Dieng dan Kalimutu bisa mencapai dibawah 10°C. Temperatur rendah menjadi faktor buruk untuk sebagian peralatan listrik, seperti transformator daya, dimana temperatur rendah dapat memengaruhi beberapa komponen yang berada di transformator, seperti minyak isolasi menjadi lebih kental atau bahkan membeku. Temperatur rendah akan membuat transformator mengalami penurunan kinerja [1].

Penurunan temperatur pada minyak transformator terjadi ketika beban transformator berkurang atau ketika transformator dimatikan dan kemudian dihidupkan kembali dalam kondisi dingin [2]. Kondisi tersebut dianggap kurang diinginkan, terutama di wilayah dengan iklim yang cenderung dingin.

Marina N. Lyutikova, *et al.* (2022) melaporkan bahwa sifat dielektrik minyak dapat berubah pada temperatur rendah, di mana kekuatan dielektrik minyak transformator cenderung menurun [1]. Penurunan ini disebabkan oleh pembentukan kristal es yang meningkatkan konduktivitas listrik, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kebocoran listrik [3]. Pada temperatur rendah, minyak isolasi akan mengalami peningkatan viskositas,

yang mengakibatkan distribusi tegangan yang tidak merata dan potensial munculnya "voids" dalam minyak. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan jumlah kejadian tembus tegangan, yang pada akhirnya dapat menurunkan kinerja peralatan listrik [4].

Oleh karena itu, pada kasus transformator yang digunakan pada sistem kelistrikan pada daerah tertentu di Indonesia dengan kondisi temperatur yang rendah perlu di pelajari pengaruh temperatur pada minyak transformator dengan melakukan pengukuran tegangan tembus dengan beberapa variasi temperatur dalam rentang 10 - 20° Celcius untuk minyak mineral berjenis Shell *Diala B*. Pengujian tersebut dilakukan sebagai simulasi yang menggambarkan pengaruh temperatur rendah yang terjadi pada kawasan tertentu di Indonesia.

## 1.2 Rumusan Masalah

Salah satu faktor penurunan kinerja minyak mineral adalah temperatur [5]. Saat terjadinya fluktuasi temperatur pada minyak mineral, akan mengalami penurunan kinerja. Terutama terjadi pada saat minyak mineral mengalami peningkatan viskositas akibat penurunan temperatur, atau bahkan minyak menjadi beku. Peristiwa ini dapat terjadi ketika transformator dimatikan atau saat pemeliharaan, maka temperatur minyak mineral yang berada dalam transformator akan mengikuti temperatur disekitarnya.

Marina N. Lyutikova *et al* (2022), melaporkan bahwa hasil pengujian tegangan tembus minyak mineral dengan merk *GK Russia* pada temperatur 10°C adalah sebesar 16 kV dan pada temperatur 60 °C sebesar 60 kV terdapat penurunan sebesar 73 %. Berdasarkan penelitian – penelitian tersebut diatas, maka studi ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur rendah pada minyak mineral berjenis Shell *Diala B* yang umum digunakan sebagai minyak transformator di Indonesia.

### 1.3 Tujuan

1. Mendapatkan nilai resistivitas isolasi cair minyak *Diala B* yang diberi pengkondisian temperatur rendah pada rentang 10-20° Celcius.
2. Mengukur nilai tegangan tembus pada Minyak *Diala B* yang diberi pengkondisian temperatur rendah pada rentang 10-20° Celcius.
3. Mengidentifikasi mekanisme kerusakan yang terjadi pada minyak isolasi transformator saat temperatur rendah pada rentang 10-20° Celcius.
4. Menganalisis pengaruh fluktuasi temperatur pada performa isolasi minyak transformator.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, akan diberlakukan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Dalam studi ini sampel yang digunakan berupa minyak mineral dengan jenis *Diala B*.
2. Sampel diberi perlakuan temperatur pada rentang 10-20° Celcius.
3. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kekuatan tembus pada minyak *Diala B*.
4. Pengujian tegangan tembus ini menggunakan standar IEC 60156 [6].
5. Pengujian resistivitas menggunakan standar IEC 60247 dan IEC 60096[7].
6. Pengujian tegangan tembus dilakukan menggunakan sistem elektroda setengah bola dan pengujian resistivitas menggunakan elektroda bidang yang memiliki diameter sebesar 36 mm dan terpisah dengan jarak sela sebesar 1 mm untuk pengujian resistivitas dan 2,5 mm untuk pengujian tegangan tembus.

## 1.5 Hipotesis Penelitian

Pada saat temperatur turun, terjadi peningkatan viskositas minyak transformator yang dapat menyebabkan beberapa dampak negatif pada kinerja minyak transformator. Peningkatan viskositas dapat mengurangi kemampuan minyak untuk mengalir dan dapat menyebabkan beku pada temperatur rendah ekstrim. Selain itu, peningkatan viskositas dan pembekuan dapat mempengaruhi sifat dielektrik minyak transformator. Sifat dielektrik yang buruk dapat menyebabkan penurunan efisiensi isolasi. Dalam kondisi ini, kekuatan tembus minyak dapat menurun.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. Lyutikova, S. M. Korobeynikov, A. V. Ridel, D. V. Vagin, and A. A. Konovalov, "The Breakdown Voltage of Moistened Mineral Oil During Its Cooling," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 6, pp. 2181–2189, Dec. 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3203658.
- [2] W. Lai, W. Li, M. Li, H. Meng, and H. Wang, "Experimental Research on Breakdown Characteristics of Transformer Oil at Low Temperature," in *Proceedings of 2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2018)*, Dec. 2018.
- [3] H. Zulkarnain and M. Simanjuntak, "Resistivitas dan Indeks Polarisasi Minyak Transformator Bekas dengan Penambahan Nanopartikel ZNO dan AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," *SEMNASTEK USU*, 2023.
- [4] M. Gao, G. Li, J. Li, and Z. Zhao, "The Temperature Dependence of Insulation Characteristics of Transformer Oil at Low Temperatures," in *IEEE Power Engineering and Automation Conference : proceedings*, IEEE Press, 2011.
- [5] I. Nyoman Oksa Winanta *et al.*, "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator," 2019.
- [6] IEC 60156, *Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage at power frequency-Test method Isolants liquides-Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle-Méthode d'essai*. 2018. [Online]. Available: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- [7] IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor (tan  $\delta$ ) and d.c. resistivity*, 3rd ed. Geneva, 2004.
- [8] D. Kind and H. Karner, *High-voltage insulation technology: Textbook for electrical engineers*", vol. 190. 1985.
- [9] I. M. .D. Harinata, J. Ilham, and T.I. Yusuf, "Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Cair dan Isolasi Udara pada Beberapa

- Perubahan Suhu dan Diameter Elektroda,” *J.Tek*, vol. 17, no. 1, pp. 1–18, 2019.
- [10] V. A Panov, Y. M. Kulikov, E. E. Son, A. S. Tyuftyaev, M. K. Gadzhief, and P. L. akimov, “Electrical breakdown voltage of transformer oil with gas bubbles,” *High Temp*, vol. 52, no. 5, pp. 770–773, 2014.
- [11] R. Mosch and A. Wolfgang, *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. 2011.
- [12] Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, vol. Cetakan ketujuh. Jakarta: Pradnya Paramita, 1994.
- [13] L. Bonggas and Tobing, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [14] Muhaimin, *Bahan-Bahan Listrik Untuk Politeknik*, vol. 1382. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1999.
- [15] IEC 60422, *Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment - Supervision and Maintenance Guidance*. 2013.
- [16] J. Smith, “Impact of Temperature on Transformer Oil Performance,” *Journal of Electrical Engineering*, vol. 25, no. 3, pp. 123–136, 2018.
- [17] University of Manchester, IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, “2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL) : 25 June - 29 June, 2017, Manchester, United Kingdom,”
- [18] A. Rahman, “Performance Evaluation of *Diala B* Insulating oil in Power Transformers,” *International Journal of Electrical Engineering*, vol. 32, no. 2, pp. 87–101, 2020.
- [19] J. Velandy and A. Garg, “Prediction of Static Pressure Drop, Velocity and Flow Rate of Higher Viscous Nature of Ester Oil in Power Transformer under Oil Directed Cooling Conditions,” in

*PIICON 2020 : 9th IEEE Power India International Conference : conference digest : (28th February - 1st March 2020).*, Feb. 2020.

- [20] C. S. Shaw, P. Rosson, and A. Uk, "Air Breakdown Characteristics In Plane and Sphere," *Austin J Cerebrovasc Dis Stroke*, vol. 1, no. 5, pp. 1–5, 2014.
- [21] D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2011.
- [22] Institute of Electrical and Electronics Engineers., *2011 IEEE Power Engineering and Automation Conference: proceeding: Sep. 8-9, 2011, Wuhan, China*. IEEE Press, 2011.
- [23] D. Saruhashi, X. Bin, L. Zhiyuan, and S. Yanabu, "Thermal degradation phenomena of flame resistance insulating paper and oils," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul*, vol. 20, no. 1, pp. 122–127, Feb. 2013.
- [24] T. K. Saha and P. Purkait, "Investigations of temperature effects on the dielectric response measurements of transformer oil-paper insulation system," *IEEE Trans. Power Del*, vol. 23, no. 1, pp. 252–260, Jan. 2008.
- [25] J. Sun, S. Zhang, Z. Xu, and C. Wu, "Oil-paper Insulation Characteristic and Maintenance Measure of Oil-immersed Transformer in Cold Environment," in *IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL)*, Jun. 2017.
- [26] Tim PT. Shell Indonesia, "Shell Diala - Pelumas Trafo untuk Incudstri," [https://www.shell.co.id/in\\_id/konsumen-bisnis/lubricants-for-business/lubricants-product-range/shell-diala-electrical-oils.html](https://www.shell.co.id/in_id/konsumen-bisnis/lubricants-for-business/lubricants-product-range/shell-diala-electrical-oils.html).
- [27] S. Nur singgih, "Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC dan DC Pada Minyak Transformator," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, 2009.