

# Studi Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Isolasi Nynas

Wasimudin Surya S<sup>1</sup>, Bachtiar Hasan<sup>2</sup>, Imam Munandar<sup>3</sup>

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia  
Jl. Dr. Setiabudi No. 207, Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>wasimudin@upi.edu

<sup>2</sup>bachtiarhasan55@yahoo.com

<sup>3</sup>munandar.imam73@yahoo.com

**Abstrak** — Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh perubahan temperatur terhadap karakteristik tegangan tembus minyak isolasi transformator dan meneliti apakah minyak isolasi transformator bekas yang telah mengalami *treatment* melalui purifikasi masih layak digunakan sebagai minyak transformator. Minyak isolasi yang digunakan sebagai bahan uji pada penelitian ini adalah minyak transformator *Nynas* baru dan minyak transformator *Nynas* bekas yang telah dipurifikasi. Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan variasi temperatur dan jarak sela elektroda [6,8]. Pengujian dilakukan pada temperatur 30°C, 50°C dan 70°C; sedangkan jarak sela elektroda yang digunakan adalah 1 mm, 2 mm, dan 2,5 mm. Berdasarkan hasil identifikasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa tegangan tembus minyak isolasi *Nynas* (baik baru maupun bekas) akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Pada jarak sela elektroda setengah bola 2,5 mm (sesuai standar IEC-56), nilai tegangan tembus minyak isolasi *Nynas* baru pada temperatur 30°C, 50°C dan 70°C berturut-turut adalah 24,5 kV, 26,7 kV dan 30,3 kV; sedangkan untuk minyak isolasi *Nynas* bekas, nilai tegangan tembus pada kondisi yang sama adalah 15,7 kV, 28,2 kV dan 34,3 kV. Berdasarkan nilai kekuatan dielektriknya, diketahui bahwa minyak isolasi *Nynas* bekas yang telah mengalami *treatment* melalui purifikasi masih layak digunakan sebagai minyak isolasi pada transformator.

**Kata Kunci** — Minyak isolasi, tegangan tembus, temperatur, jarak sela elektroda, purifikasi

## I. PENDAHULUAN

Isolator listrik adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Isolator atau bahan isolasi merupakan suatu bahan yang diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang memiliki beda tegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan bunga api listrik atau percikan [6,8].

Pada transformator, salah satu bahan isolasi yang biasa digunakan adalah minyak, dan dikenal sebagai minyak trafo. Minyak trafo selain berfungsi sebagai bahan isolasi, juga berfungsi sebagai bahan pendingin untuk transformator itu sendiri [4,5]. Penggunaan minyak trafo dalam jangka waktu yang cukup lama pada temperatur yang berubah-ubah akibat pembebanan, akan mempengaruhi karakteristik minyak

tersebut khususnya kekuatan isolasi, sehingga mengakibatkan kinerja transformator menjadi turun [2].

Agar kinerja transformator tetap terjaga dengan baik, dapat dilakukan penggantian minyak trafo dengan yang baru. Akan tetapi cara ini relatif mahal. Salah satu cara alternatif yang biasa digunakan adalah dengan melakukan *treatment* atau perawatan pada minyak tersebut, salah satunya dengan purifikasi [6]. Untuk mengetahui kualitas minyak trafo setelah mengalami purifikasi, khususnya dari sisi kekuatan isolasi atau kekuatan dielektrik, salah satu caranya adalah dengan melakukan pengujian tegangan tembus [5,6].

Berdasarkan standar IEC-156 [1], tegangan tembus minyak trafo pada temperatur 30 °C adalah 30 kV pada pengujian dengan jarak sela 2,5 mm (yang berarti kekuatan dielektriknya sekitar 120 kV/cm). Pada penelitian ini dilakukan pengujian tegangan tembus minyak trafo jenis *Nynas Nytro 10XN* untuk minyak bekas yang telah mengalami purifikasi dan hasilnya dibandingkan dengan tegangan tembus minyak yang baru. Pengujian dilakukan menggunakan tegangan tinggi bolak-balik (ac) frekuensi tenaga (50 Hz) dengan jarak sela 1 mm, 2 mm dan 2,5 mm pada temperatur 30 °C, 50 °C dan 70 °C [6,8].

## II. PROSEDUR PENGUJIAN

Pengukuran tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan *Megger Foster OTS80AF/2* dari AVO International seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Peralatan ini telah dilengkapi dengan pasangan elektroda setengah bola sesuai dengan standar IEC-156 [1]. Pada pengujian ini dipilih laju kenaikan tegangan 2 kV/s dan jarak sela elektroda yang digunakan adalah 2,5 mm sesuai dengan yang direkomendasikan standar IEC-156. Selain menggunakan jarak sela elektroda 2,5 mm, juga dilakukan modifikasi dengan jarak sela 1,0 mm dan 2,0 mm. Gambar 2 menunjukkan *oil chamber* dengan jarak sela elektroda yang bisa diatur.



Gambar 1 Megger Foster OTS80AF/2



Gambar 2 Oil chamber dengan jarak sela elektroda yang dapat dipilih (1 mm, 2,0 mm, 2,5 mm atau 2,54 mm)

Penerapan tegangan dapat dimulai setidaknya lima menit setelah sampel minyak dituangkan ke dalam kamar uji [1]. Waktu tunda ini diperlukan untuk menjamin bahwa semua gelembung gas yang terbentuk selama proses penuangan telah hilang sebelum pengukuran dimulai. Pengukuran dilakukan enam kali dengan waktu tunda antara dua pengukuran berurutan paling sedikit dua menit [1]. Waktu tunda setelah pengukuran ditujukan agar sisa produk *breakdown* pada pengujian sebelumnya tidak mempengaruhi pengujian berikutnya.

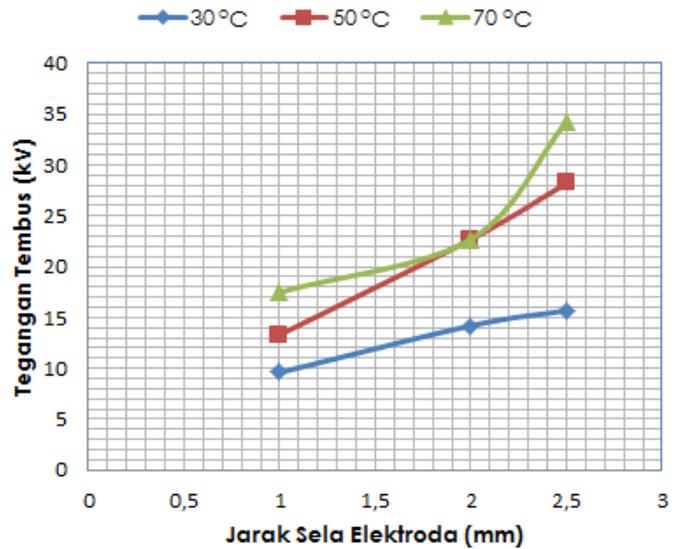
Untuk menginvestigasi pengaruh temperatur terhadap tegangan tembus minyak, pengukuran dilakukan pada beberapa temperatur yang berbeda. Temperatur dinaikkan mulai dari 30 °C sampai dengan 70 °C dengan kenaikan 20 °C.

### III. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengukuran tegangan tembus dilakukan pada temperatur 30 °C, 50 °C dan 70 °C. Pada masing-masing temperatur, pengukuran dilakukan pada jarak sela yang berbeda, yaitu 1,0 mm, 2,0 mm dan 2,5 mm. Hasil pengukuran tegangan tembus untuk minyak trafo bekas yang telah mengalami purifikasi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3; sedangkan untuk minyak trafo baru ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

TABEL 1  
TEGANGAN TEMBUS RATA-RATA MINYAK ISOLASI NYNAS BEKAS SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DAN JARAK SELA ELEKTRODA

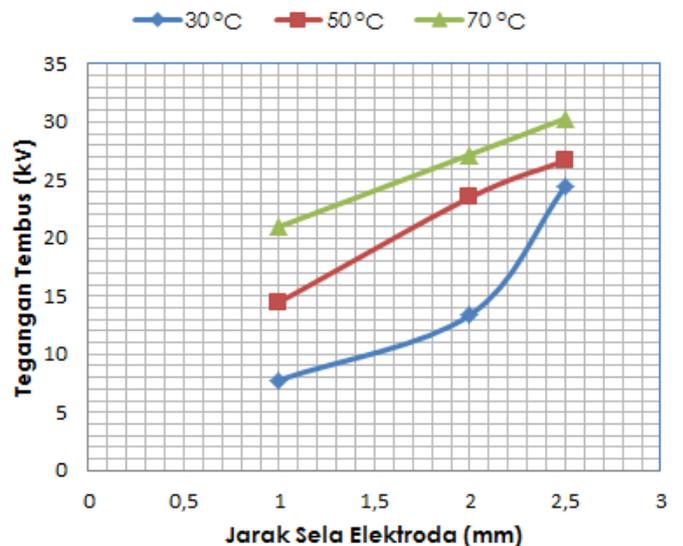
Temperatur (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	Jarak Sela 1 mm (1)	Jarak Sela 2 mm (2)	Jarak Sela 2,5 mm (3)
30	9,6	14,2	15,7
50	13,3	22,7	28,2
70	17,5	22,7	34,3



Gambar 3 Grafik tegangan tembus rata-rata minyak isolasi Nynas bekas sebagai fungsi dari temperatur dan jarak sela elektroda

TABEL 2  
TEGANGAN TEMBUS RATA-RATA MINYAK ISOLASI NYNAS BARU SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DAN JARAK SELA ELEKTRODA

Temperatur (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	Jarak Sela 1 mm (1)	Jarak Sela 2 mm (2)	Jarak Sela 2,5 mm (3)
30	7,8	13,4	24,5
50	14,5	23,5	26,7
70	21,0	27,2	30,3



Gambar 4 Grafik tegangan tembus rata-rata minyak isolasi Nynas baru sebagai fungsi dari temperatur dan jarak sela elektroda

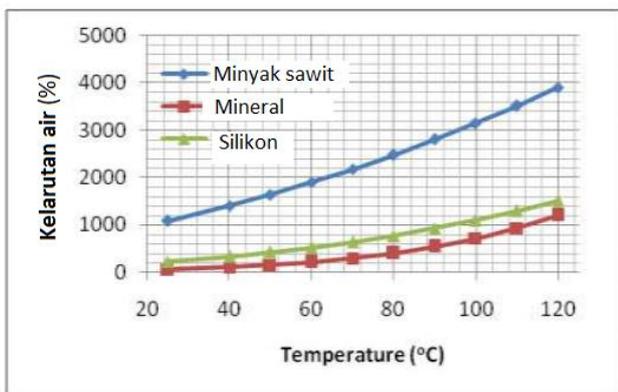
Berdasarkan data hasil pengukuran pada beberapa jarak sela elektroda, diketahui bahwa karakteristik tegangan tembus sebagai pengaruh dari perubahan temperatur untuk minyak trafo *Nynas* bekas cenderung hampir sama dengan minyak trafo *Nynas* baru. Tegangan tembus minyak isolasi trafo *Nynas* akan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan temperatur. Pada jarak sela elektroda standar 2,5 mm, rata-rata gradien kenaikan tegangan tembus pada rentang temperatur 30 – 70 °C adalah 0,465 kV/°C untuk minyak *Nynas* bekas dan 0,145 kV/°C untuk minyak *Nynas* baru.

Naiknya nilai tegangan tembus karena kenaikan temperatur ini dimungkinkan karena berkurangnya kandungan air relatif yang terdapat dalam minyak transformator [4,8]. Telah diketahui bahwa tegangan tembus berbagai isolasi cair berbanding terbalik dengan kandungan air relatif [4]. Kandungan relatif air ( $w_{t_r}$ ) dari suatu minyak adalah perbandingan antara kandungan air mutlak ( $w_{t_{abs}}$ ) dengan kelarutan ( $w_{t_l}$ ) minyak tersebut seperti ditunjukkan oleh persamaan (1). Kelarutan air dalam minyak meningkat dengan kenaikan temperatur, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (2).

$$w_{t_r} = \frac{w_{t_{abs}}}{w_{t_l}} \times 100\% \quad (1)$$

$$w_{t_l} = w_{t_0} \exp\left(\frac{-H}{T}\right) \quad (2)$$

( $w_{t_0}$  dan  $H$  adalah parameter minyak). Nilai  $w_{t_0}$  dan  $H$  untuk minyak kelapa sawit, minyak mineral dan minyak silikon berturut-turut adalah  $2,61 \times 10^5$  dan 1340,  $19,2 \times 10^6$  dan 3805, dan  $5,66 \times 10^5$  dan 2328,8 [4]. Grafik yang menunjukkan hubungan antara kelarutan air sebagai fungsi temperatur mutlak ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Kelarutan air untuk minyak sawit, minyak mineral dan minyak silikon [4].

Kenaikan temperatur menyebabkan pengurangan yang signifikan kandungan air relatif pada minyak. Akibatnya, tegangan tembus minyak akan naik. Pengujian yang membandingkan sifat dielektrik minyak kelapa sawit, minyak mineral dan minyak silikon menunjukkan hasil yang sama [4]. Kecenderungan yang sama juga diperoleh pada penelitian pengukuran tegangan tembus campuran minyak mineral dan ester minyak sawit pada temperatur 30 – 70 °C [7].

Setiap bahan dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul suatu terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka dielektrik akan bersifat menghantarkan arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik dikatakan mengalami tembus listrik atau “breakdown”.

Dengan asumsi hubungan antara tegangan tembus dengan jarak sela elektroda adalah linier, maka besarnya kekuatan dielektrik minyak isolasi *Nynas* yang digunakan pada pengujian ini dapat didekati dengan menggunakan persamaan

$$E = \frac{V}{d} \quad (3)$$

dengan

$E$  = kekuatan dielektrik bahan isolasi

$V$  = tegangan tembus bahan isolasi

$d$  = jarak sela elektroda

Berdasarkan persamaan tersebut, maka dari data pada Tabel 1 dan 2, dapat ditentukan kekuatan dielektrik minyak isolasi *Nynas* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Tabel 4.

TABEL 3  
KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK ISOLASI *NYNAS* BEKAS  
SEBAGAI FUNGSI DARI TEMPERATUR

Temperatur (°C)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)			
	(1)	(2)	(3)	Rata-rata
30	96	71	62,8	76,6
50	133	113,5	112,8	119,76
70	175	113,5	137,2	141

TABEL 3  
KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK ISOLASI *NYNAS* BARU SEBAGAI  
FUNGSI DARI TEMPERATUR

Temperatur (°C)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)			
	(1)	(2)	(3)	Rata-rata
30	78	67	98	81
50	145	117,5	106,8	123,1
70	210	136	121,2	155,73

Berdasarkan data yang ada pada Tabel 3 dan 4 terlihat bahwa pada temperatur 30 °C kekuatan dielektrik minyak trafo *Nynas* pakai (bekas) adalah 76,6 kV/cm dan minyak *Nynas* baru 98 kV/cm. Pengujian yang dilakukan oleh pabrikan (produsen minyak) dengan menggunakan standar IEC-156 menunjukkan bahwa minyak *Nynas* ini memiliki kekuatan dielektrik minimal 120 kV/cm dan tipikal 160 – 240 kV/cm. Apabila dibandingkan dengan nilai standar tersebut, hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini berada cukup jauh berada di bawah standar. Hal ini dimungkinkan karena pada kisaran temperatur 30 °C, kandungan air relatif pada minyak masih tinggi. Hasil ini juga tidak perlu terlalu

dipermasalahan karena pada saat dioperasikan, minyak trafo bekerja pada kisaran temperatur 60 – 80 °C.

Seperti diketahui, ketika beroperasi dalam keadaan berbeban, temperatur trafo biasanya berkisar antara 60 °C sampai 80 °C. Dari Tabel 3 dan 4 diketahui bahwa pada temperatur 70 °C, minyak *Nynas* bekas dan baru masing-masing memiliki kekuatan dielektrik rata-rata 141 kV/cm dan 156 kV/cm. Jika dibandingkan dengan standar pabrikan, kekuatan dielektrik minyak *Nynas* yang diuji ini sudah berada di atas kekuatan dielektrik minimal (120 kV/cm). Hal ini berarti minyak *Nynas* bekas yang telah mengalami *treatment* dengan purifikasi masih dapat atau layak digunakan sebagai minyak trafo, dan hal ini tentunya cukup menguntungkan secara ekonomis dibandingkan dengan membeli minyak yang baru.

Bila dibandingkan dengan standar tipikal kekuatan dielektrik minyak *Nynas*, minyak yang digunakan pada pengujian ini memang nilainya masih berada di bawah nilai standar. Ada beberapa faktor yang mungkin menjadi penyebab hal tersebut. Salah satunya adalah bahwa minyak yang digunakan dalam percobaan ini telah disimpan dalam waktu yang cukup lama, yang tentunya juga akan berpengaruh terhadap kekuatan isolasinya [9].

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Kenaikan temperatur memberi pengaruh yang signifikan terhadap tegangan tembus minyak transformator *Nynas*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada rentang temperatur 30 – 70 °C, semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula tegangan tembus minyak transformator.

2. Nilai rata-rata kekuatan dielektrik minyak isolasi *Nynas* baru cenderung lebih tinggi dari pada nilai rata-rata kekuatan dielektrik minyak isolasi *Nynas* bekas.
3. Dengan *treatment* khusus, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka pada temperatur operasi transformator minyak isolasi *Nynas* bekas masih layak digunakan sebagai bahan minyak isolasi transformator.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Insulating Liquids – Determination of the Breakdown Voltage at Power Frequency – Test Method*, IEC-156 International Standard, Second Edition, 1995.
- [2] Nugroho, D., *Kegagalan Isolasi Minyak Trafo Media Elektrika*. 3, (2), 2010.
- [3] Panggabean, S., “Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator (Gulf, *Nynas*, Shell Diala B dan Total)”, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2008.
- [4] Rajab, A., “A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with Mineral and Synthetic Types Insulating Liquid under Temperature Variation”, *ITB J. Eng. Sci.*, Vol. 43, No. 3, 191-208, 2001.
- [5] *Minyak Isolasi-Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak Isolasi*, SPLN 49-1, 1982.
- [6] Supriyanto, D., “Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Sebelum dan Sesudah Dipurifikasi dengan Fenol”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [7] Suwarno, Darma, I.S., “Dielectric properties of mixtures between mineral oil and natural ester from palm oil”. *Journal of WSEAS Transaction on Power Systems*, 3(2), pp. 37-46, 2008.
- [8] Wibowo, W. K., “Analisis Karakteristik *Breakdown Voltage* pada Dielektrik Minyak Shell Diala B pada Suhu 30 °C – 130 °C”. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [9] Zaeni, M., “Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo”. Proyek Akhir Jurusan Teknik Energi, Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung.