

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN

#### 4.1 Objek dan Area Studi

Objek yang menjadi tempat untuk pengujian dan analisis merupakan sebuah Gardu Induk milik PT. PLN (Persero) dengan kapasitas 150 kV yang berlokasi di daerah jalan parangtritis, bantul, yogyakarta. Unit yang akan diuji merupakan transformator dengan kapasitas 60 MVA yang sudah berumur 20 tahun dengan tipe sistem pendingin *ONAN*, *ONAF*. Spesifikasi transformator yang akan diujikan yaitu:

1. Merk : Xian Transformator
2. Tipe Transformator : SFZ-600000/150
3. Frekuensi : 50 hz
4. No. Seri : A95006.3
5. Koneksi : *STAR – STAR* [Ynyno(d)]
6. Tegangan Nominal : 150 Kv
7. Kapasitas : 60 MVA
8. Temp. Rise Oil : 53°
9. Winding Temp Rise : 59°
10. Kapasitas Minyak : 102
11. Jumlah Minyak : 26000 kg
12. Kapasitas Tangki : 102000 kg
13. Standard : *IEC 76-1976*

## 4.2 Hasil Pengujian

Dibawah ini merupakan hasil pengujian yang sudah dilakukan, nilai pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini, yaitu:

**Tabel 4.21 Data Hasil Pengujian**

<b>Data Hasil Pengujian</b>					
<b>No</b>	<b>Merk Minyak Trafo</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Jenis Warna</b>	<b>Kandungan Air ppm (mg/kg)</b>	<b>Tegangan Tembus (kV)</b>
1.	Nynas Nitro Libra	Baru	Kuning Pucat (D 0.5)	-	67,1
2.	Nynas Nitro Libra	Bekas/masih dipakai	Kuning Muda (D 0.5)	-	16,8
3.	Nynas Nitro Libra	Bekas/ <i>crude oil</i>	<i>Crude Oil</i> (D 8.0)	4	09,8

Dari semua observasi dan proses pengujian-pengujian minyak isolasi transformator, data tersebut dikumpulkan dan dianalisis, kemudian disajikan dalam bentuk gambar dan grafik yang kemudian dianalisis untuk mengetahui kualitas dan kekuatan *dielektrik* minyak isolasi transformator. Berikut adalah hasil pengujian minyak isolasi, yaitu:

### 4.2.1 Data Hasil Pengujian Jenis Warna Minyak Baru

Berikut merupakan sampel minyak yang telah diuji berdasarkan parameter jenis warna di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Pengujian warna menggunakan alat bernama *Seta Lovibond Color Comparator*. Untuk membandingkan warna menggunakan 2 buah gelas uji, 1 gelas uji untuk sampel minyak baru, dan 1 gelas uji untuk sampel minyak yang akan diuji. Selanjutnya dengan memutar panel pada alat tersebut, pada

alat akan muncul nilai warna sampel tersebut. Dibawah ini tabel 4.2 merupakan hasil pengujian, yaitu:

**Tabel 4.2 Hasil Jenis Warna Minyak Baru**

<b>Jenis Pemeriksaan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Hasil Pemeriksaan Minyak Isolasi Trafo</b>	<b>Metode Pemeriksaan</b>
<i>Colour ASTM</i>	-	Kuning Pucat (D 0.5)	<i>ASTM D 1500</i>

Tabel 4.2 diatas merupakan hasil pengamatan jenis warna dengan membandingkan pada standar *ASTM D 1500* untuk nilainya, kemudian dari nilai tersebut digunakan untuk menentukan jenis warna pada minyak. Sampel minyak sedang dipakai pengujiannya tidak menggunakan alat, hanya dilakukan pengamatan jenis warna. Sampel ini masih dalam kategori yang jernih, dan hanya berubah berwarna Kuning pucat (D 0.5), dikarenakan terdapat *sludge* atau karbon yang sedikit. Maka jika disimpulkan, minyak ini masih dapat digunakan. Perubahan warna ini disebabkan karena proses penuaan ketika digunakan sebagai isolasi pada kumparan di dalam trafo. Dan faktor suhu trafo yang dapat mempercepat penuaan pada minyak.

#### **4.2.2 Data Hasil Pengujian Jenis Warna Minyak Sedang Dipakai**

Berikut merupakan sampel minyak yang telah diuji berdasarkan parameter jenis warna di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Pengujian warna menggunakan alat bernama *Seta Lovibond Color Comparator*. Untuk membandingkan warna menggunakan 2 buah gelas uji, 1 gelas uji untuk sampel minyak baru, dan 1 gelas uji untuk sampel minyak yang akan diuji. Selanjutnya dengan memutar panel pada alat tersebut, pada alat akan muncul nilai warna sampel tersebut. Dibawah ini tabel 4.3 merupakan hasil pengujian, yaitu:

**Tabel 4.3 Hasil Jenis Warna Minyak Sedang dipakai**

<b>Jenis Pemeriksaan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Hasil Pemeriksaan Minyak Isolasi Trafo</b>	<b>Metode Pemeriksaan</b>
<i>Colour</i> <i>ASTM</i>	-	Kuning Pucat (D 0.5)	<i>ASTM D 1500</i>

Tabel 4.3 diatas merupakan hasil pengamatan jenis warna dengan membandingkan pada standar *ASTM D 1500* untuk nilainya, kemudian dari nilai tersebut digunakan untuk menentukan jenis warna pada minyak. Sampel minyak sedang dipakai pengujiannya tidak menggunakan alat, hanya dilakukan pengamatan jenis warna. Sampel ini masih dalam kategori yang jernih, dan hanya berubah berwarna Kuning Pucat (D 0.5) tetapi sedikit lebih berwarna kuning jika dibandingkan dengan minyak baru. Maka jika disimpulkan, minyak ini masih dapat digunakan. Perubahan warna ini disebabkan karena proses penuaan ketika digunakan sebagai isolasi pada kumparan di dalam trafo. Dan faktor suhu trafo yang dapat mempercepat penuaan pada minyak.

#### **4.2.3 Data Hasil Pengujian Jenis Warna *Crude Oil* Transformator**

Berikut merupakan sampel minyak yang telah diuji berdasarkan parameter jenis warna di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Pengujian warna menggunakan alat bernama *Seta Lovibond Color Comparator*. Untuk membandingkan warna menggunakan 2 buah gelas uji, 1 gelas uji untuk sampel minyak baru, dan 1 gelas uji untuk sampel minyak yang akan diuji. Selanjutnya dengan memutar panel pada alat tersebut, pada alat akan muncul nilai warna sampel tersebut. Dibawah ini tabel 4.4 merupakan hasil pengujian, yaitu:

**Tabel 4.4 Hasil Jenis Warna Minyak Bekas**

<b>Jenis Pemeriksaan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Hasil Pemeriksaan Minyak Isolasi Trafo</b>	<b>Metode Pemeriksaan</b>
<i>Colour</i> <i>ASTM</i>	-	<i>Crude Oil D 8.0</i>	<i>ASTM D 1500</i>

Berdasarkan hasil pengujian warna menggunakan alat *Seta Lovibond Color Comparator*. Pengujian warna dapat dikatakan pengujian yang simple dikarenakan saat pengujian hanya membanding 2 buah sampel minyak, yaitu minyak baru dengan minyak bekas dan hanya perlu dilakukan 1x pengujian. Berbeda dengan pengujian *breakdown voltage* yang harus dilakukan beberapa kali pengujian. Pengujian warna mendapatkan hasil D 8.0, berdasarkan standar *ASTM D 1500* hasil D 8,0 mempunyai warna hitam legam, maka untuk diperoleh hasil layak atau tidaknya minyak ini adalah ada pada hasil *ASTM*. Hasil warna digunakan untuk sebagai indikasi. Maka dari hasil pengujian warna yaitu D 8.0 sudah masuk jenis minyak level 7 (*crude oil*), yang dimana kondisi minyak ini mempunyai kandungan *sludge* dan karbon. Supaya minyak bekas dapat diperbolehkan untuk digunakan lagi, minyak tersebut harus mempunyai hasil uji sebesar  $<1,5$ .

#### **4.2.4 Data Hasil Pengujian Kadar Air *Crude Oil*/Minyak Bekas**

Berikut merupakan sampel minyak yang telah diuji berdasarkan parameter kandungan air di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Pengujian minyak menggunakan bahan kimia jenis Solvent Xylol dan Toluene yang di campur dan mempunyai fungsi untuk mengikat air pada minyak, kemudian dipanaskan hingga mendidih dan menjadi embun. Selanjutnya didinginkan menggunakan kondensor, maka unsur minyak dan air akan terpisah dan tertampung di trap. Dibawah ini tabel 4.5 merupakan hasil pengujian, yaitu:

**Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Minyak Bekas**

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan Minyak Isolasi Trafo	Metode Pemeriksaan
<i>Water Content</i>	% Vol	<i>Trace (0.02)</i>	<i>ASTM D95</i>

Dari hasil pengujian diatas, dengan menggunakan alat *Heater* merk Fibroman - C milik Teknik Kimia UGM, alat tersebut menggunakan standar *ASTM D95 "Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials Distillation"*

$$\text{Water, \%} \left( \frac{V}{V} \right) = \frac{\text{Volume Air di Trap}}{\text{Volume Sampel}} \times 100\%$$

Dari hasil pengujian diatas, maka dapat dihitung prosentase kadar air pada minyak jenis crude oil tersebut, yaitu

$$\begin{aligned} \text{Water, \%} \left( \frac{V}{V} \right) &= \frac{0.02}{50} \times 100\% \\ &= 0.0004 \% \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan prosentase kadar air, hasil perhitungan tersebut masih dalam bentuk satuan 0.0004 % volume, untuk membandingkan dengan standar kandungan air dari nilai 0.0004% volume dirubah ke dalam bentuk *part of million (ppm)*, yaitu :

$$\text{Jika } 1\% \text{ Vol} = 10000\text{ppm}$$

maka,  $X_{(\text{ppm})}$  :

$$\begin{aligned} X_{(\text{ppm})} &= 10000 \times 0.0004\% \\ &= 4 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$*(4 \text{ ppm} = 4 \text{ mg/kg})$$

Berdasarkan hasil pengujian kandungan air pada minyak jenis *crude oil* didapatkan hasil 0,0004% Volume, dan dirubah satuan menjadi mg/kg yaitu sebesar 4 mg/kg, hasil ini masih dikatakan normal, karena tidak melewati batas standar *IEC 60422* ( 15-20 mg/kg). Penyebab minyak terkontaminasi oleh air dikarenakan adanya dekomposisi ataupun terpapar oleh oksigen ketika pengujian yang menyebabkan oksigen dan air dapat masuk kedalam minyak.

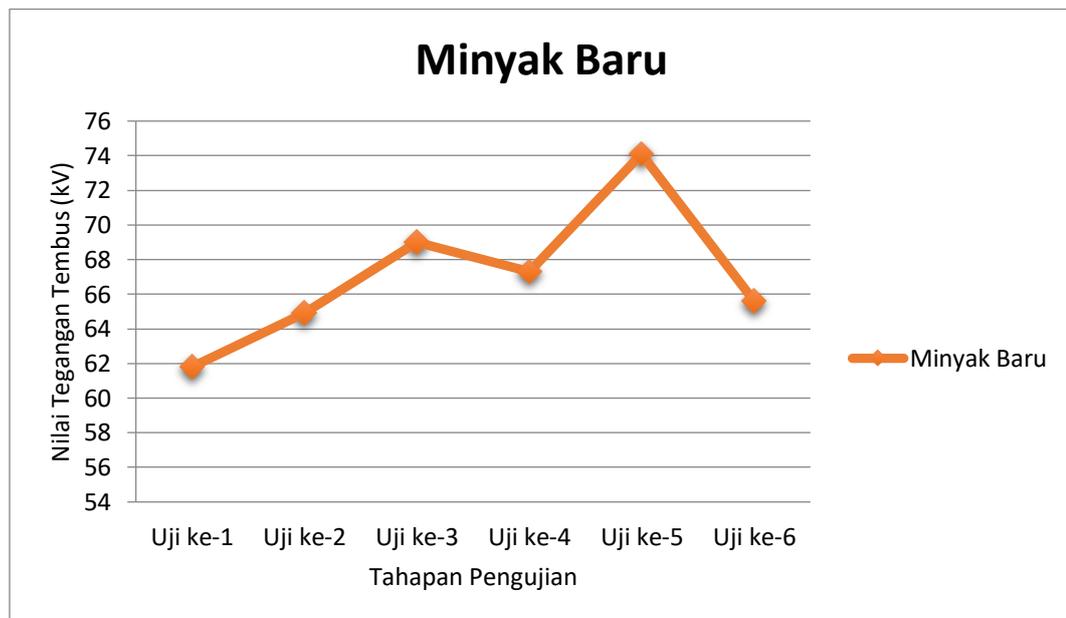
#### 4.2.5 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Baru

Berikut merupakan sampel minyak baru yang telah diuji berdasarkan parameter tegangan tembus dengan suhu kondisi lingkungan disekitar Gardu Induk PT. PLN sebesar 32°C. Pengujian minyak baru dilaksanakan 6x pengujian yang disajikan dalam tabel 4.6 berikut:

**Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Baru**

Tegangan Input	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV)						Tegangan Rata-rata
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	Uji ke-6	
100.0 kV	32°C	61.8	64.9	69.0	67.3	74.1	65.6	67.1

Dari hasil uji yang didapatkan pada pengujian tegangan tembus sebanyak 6x, akan dibuat kedalam bentuk grafik pada gambar 4.1 menggunakan program Microsoft Excel, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 4.1 Kurva Nilai Tegangan Tembus Minyak Baru dengan Suhu Tetap 32°C**

Berdasarkan kurva gambar 4.1 terlihat bahwa dengan kondisi suhu yang sama terdapat perbedaan nilai tegangan tembus di setiap pengujian minyak Nynas Nitro Libra dengan kondisi minyak baru pada 6x pengujian. Dari keenam gambar kurva diatas, kurva pengujian pertama sampai pengujian ketiga mengalami nilai tegangan tembus yang meningkat, kemudian kurva pengujian keempat mengalami penurunan nilai, dan pada kurva pengujian kelima nilai tegangan tembus mengalami perubahan nilai tegangan tembus yang tinggi yaitu 74,1 KV. Dari keenam pengujian dapat kita lihat bahwa, walau suhu sekitar memiliki nilai tetap sebesar 32°C, tetapi hasil uji tegangan tembus tetap berubah-ubah. Maka, ketika minyak isolasi diberikan tegangan input sebesar 100.0 kV secara konstan, kondisi minyak akan memanaskan kemudian semakin tinggi suhu minyak maka nilai tegangan tembusnya akan semakin tinggi. Dari

pengujian diatas, dapat disimpulkan sementara bahwa nilai tegangan tembus sudah memenuhi batas standar minimum tegangan tembus untuk jenis minyak baru yaitu sebesar 50kV untuk kategori minyak transformator golongan B, dengan tegangan nominal 70kV – 170Kv sesuai standar *IEC 60422 Method for the determination of electric strength of insulation oils*.

Pada pengujian pertama memiliki nilai tegangan tembus awal sebesar 61,8kV, nilai tersebut karena suhu minyak masih menggunakan suhu sekitar PT. PLN yaitu sebesar 32°C, namun nilai tegangan tembus ini mengalami peningkatan yang signifikan sampai pada pengujian ke 3 yaitu sebesar 69,0. Sedangkan pada pengujian keempat nilai tegangan tembus menurun menjadi 67.3kV. Kemudian nilai tegangan tembus pada pengujian kelima mengalami kenaikan sebesar 74.1kV, peningkatan ini disebabkan karena suhu minyak ketika diuji pada pengujian kelima mempunyai kondisi yang cukup panas, tetapi pada pengujian keenam, nilai tegangan tembus minyak menuurun, kesalahan ini terjadi dikarenakan ada resolusi tegangan dan akurasi alat penguji tegangan tembus sebesar 0,1 kV  $\pm 1\%$   $\pm 2\%$  dan juga faktor kesalahan karena suhu, kelembapan dan kondisi bola-bola elektroda pengujian.

Dari hasil nilai rata-rata tegangan tembus pada tabel 4.6 diatas, maka dapat dihitung nilai kekuatan dielektrik:

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak baru pada uji tes ke-1 dengan suhu 32°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{61,8}{2.5}$$

$$E = 24,72 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak baru pada uji tes ke-2 dengan suhu 32°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{64,9}{2,5}$$

$$E = 26,96 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak baru pada uji tes ke-3 dengan suhu 32°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{69,0}{2,5}$$

$$E = 27,6 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak baru pada uji tes ke-4 dengan suhu 32°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{67,3}{2,5}$$

$$E = 26,92 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak baru pada uji tes ke-5 dengan suhu 32°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E$$

$$= \frac{74,1}{2,5}$$

$$E = 29,64 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak baru pada uji tes ke-6 dengan suhu 32°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{65,6}{2,5}$$

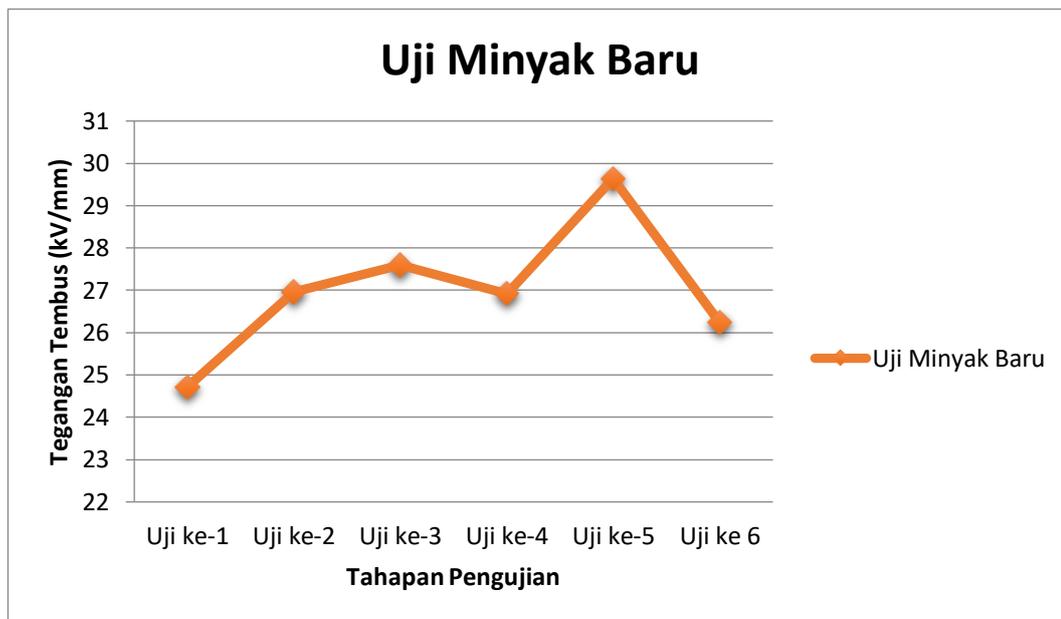
$$E = 26,24 \text{ kV/mm}$$

Dengan hasil perhitungan sampel minyak baru dengan 6x pengujian diatas akan digunakan untuk mengetahui nilai *dielectric strenght* sebagai hasil yang akan digunakan untuk perbandingan dengan standar *IEC 60422* dan untuk membandingkan nilai *dielectric* minyak baru dengan minyak jenis *crude oil*. Untuk mempermudah melihat hasil, maka tabel 4.7 dibawah ini akan meringkas hasil perhitungan diatas, yaitu:

**Tabel 4.7 Kekuatan Dielektrik Rata-Rata Minyak Baru**

Tegangan Input	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV/mm)						Rata-rata Dielektrik
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	Uji ke-6	
100.0 kV	32°C	24,72	26,96	27,6	26,92	29,64	26,24	27.01

Dari hasil perhitungan kekuatan isolasi minyak, kemudian akan dibuat dalam bentuk grafik pada gambar 4.2 menggunakan program Microsoft Excel, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 4.2 Kurva Nilai Dielektrik Minyak Baru dengan Suhu Tetap 32°C**

Berdasarkan gambar 4.2 diatas, didapatkan nilai kekuatan isolasi (*dielectric strenght*) pada minyak jenis Nynas Nitro Libra yang mempunyai kondisi masih baru. Kekuatan isolasi yang didapatkan berkisaran 24,72kV – 29,64kV/2,5mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak transformator jenis baru ini berada dibawah batas minimum standar yang sudah diterapkan yaitu sebesar 30kV/2,5mm yang berlandaskan SPLN No 49/1982 (*IEC 60422*). Nilai tegangan tembus akan berubah jika suhu minyak meningkat, maka ketika minyak ini digunakan pada transformator dan kemudian mengalami pembebanan yang mengakibatkan minyak menjadi panas, maka nilai tegangan tembus pada minyak baru ini akan meningkat. Ini sesuai dengan pengujian yang sudah dilakukan pada 6x pengujian, bahwa nilai tegangan tembus akan berubah-ubah seiring dengan minyak yang memanans dikarenakan terdapat sumber tegangan input sebesar

100kV yang konstan dan ditambah dengan suhu lingkungan sekitar transformator.

#### 4.2.6 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Sedang Dipakai

Berikut merupakan sampel minyak sedang dipakai yang telah diuji berdasarkan parameter tegangan tembus dengan suhu kondisi lingkungan disekitar Gardu Induk PT. PLN sebesar 26°C. Pengujian minyak sedang dipakai dilaksanakan 6x pengujian yang disajikan dalam tabel 4.8 berikut:

**Tabel 4.8 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Sedang Dipakai**

Tegangan Input	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV)						Tegangan Rata-rata
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	Uji ke-6	
100.0 kV	26°C	13.3	13.8	14.8	15.1	15.9	28.1	16.8

Dari hasil uji yang didapatkan pada pengujian tegangan tembus sebanyak 6x, akan dibuat kedalam bentuk grafik pada gambar 4.3 menggunakan program Microsoft Excel, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 4.3 Kurva Nilai Tegangan Tembus Minyak Bekas Dipakai dengan Suhu Tetap 26°C**

Berdasarkan kurva gambar 4.3 terlihat bahwa dengan kondisi suhu yang sama terdapat perbedaan nilai tegangan tembus di setiap pengujian minyak Nynas Nitro Libra dengan kondisi bekas dipakai pada 6x pengujian. Dari keenam gambar kurva diatas, kurva pengujian pertama sampai pengujian kelima mengalami nilai tegangan tembus yang meningkat, kemudian pada kurva pengujian keenam nilai tegangan tembus mengalami kenaikan yang sangat tajam dengan nilai tegangan tembus yang tinggi yaitu 28,1kV. Dari keenam pengujian dapat kita lihat bahwa, walau suhu sekitar memiliki nilai tetap sebesar 26°C. Maka, ketika minyak isolasi diberikan tegangan input sebesar 100.0 kV secara konstan, kondisi minyak akan memanas kemudian semakin tinggi suhu minyak maka nilai tegangan tembusnya akan semakin tinggi. Dari pengujian diatas, dapat disimpulkan sementara bahwa nilai tegangan tembus belum memenuhi batas standar minimum tegangan tembus untuk jenis minyak baru yaitu sebesar 50kV untuk kategori minyak transformator golongan B, dengan tegangan nominal 70kV – 170kV. Kondisi ini memungkinkan disebabkan karena minyak sudah terpakai beberapa waktu,

yang membuat minyak isolasi mengalami penurunan kualitas. Ini sesuai dengan standar *IEC 6022 Method for the determination of electric strength of insulation oils*.

Pada pengujian pertama memiliki nilai tegangan tembus awal sebesar 13,3kV, nilai tersebut karena suhu minyak masih menggunakan suhu sekitar PT. PLN yaitu sebesar 26°C, namun nilai tegangan tembus ini mengalami peningkatan yang signifikan sampai pada pengujian ke 6 yaitu sebesar 28,1kV, peningkatan ini disebabkan karena suhu minyak ketika diuji pada setiap pengujian minyak mempunyai suhu yang terus meningkat, disebabkan terdapat tegangan input yang konstan. Beberapa pengujian mengalami perbedaan nilai ketika diuji, faktor kesalahan ini terjadi dikarenakan ada resolusi tegangan dan akurasi alat penguji tegangan tembus sebesar 0,1 kV ±1% ±2% dan juga faktor kesalahan karena suhu, kelembapan dan kondisi bola-bola elektroda pengujian.

Dari hasil nilai rata-rata tegangan tembus pada tabel 4.8 diatas, maka dapat dihitung nilai kekuatan dielektrik:

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak sedang dipakai pada uji tes ke-1 dengan suhu 26°C

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{13.3}{2.5}$$

$$E = 5,32 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak sedang dipakai pada uji tes ke-2 dengan suhu 26°C

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{13.8}{2.5}$$

$$E = 5,52 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak sedang dipakai pada uji tes ke-3 dengan suhu 26°C

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{14.8}{2.5}$$

$$E = 5,92 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak sedang dipakai pada uji tes ke-4 dengan suhu 26°C

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{15.1}{2.5}$$

$$E = 6,04 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak sedang dipakai pada uji tes ke-5 dengan suhu 26°C

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{15.9}{2.5}$$

$$E = 6,39 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak sedang dipakai pada uji tes ke-6 dengan suhu 26°C

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{28.1}{2.5}$$

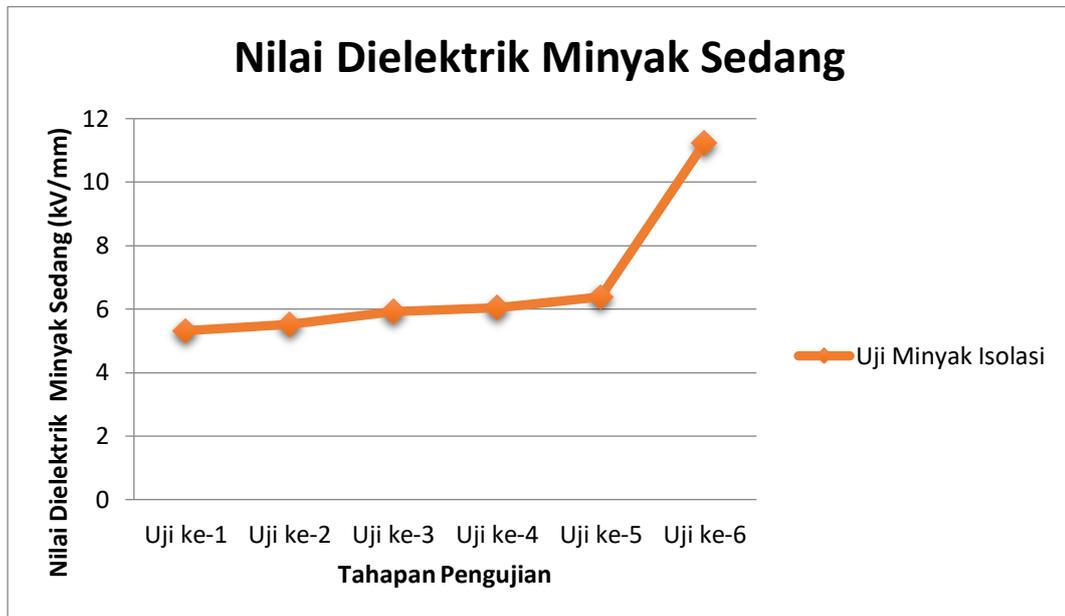
$$E = 11,24 \text{ kV/mm}$$

Dengan hasil perhitungan sampel minyak bekas dipakai dengan 6x pengujian diatas akan digunakan untuk mengetahui nilai *dielectric strenght* sebagai hasil yang akan digunakan untuk perbandingan dengan standar *IEC 60422* dan untuk membandingkan nilai dielectric minyak sedang dipakai dengan minyak jenis *crude oil*. Untuk mempermudah melihat hasil, maka tabel 4.9 dibawah ini akan meringkas hasil perhitungan diatas, yaitu:

**Tabel 4.9 Kekuatan Dielektrik Rata-Rata Minyak Sedang Dipakai**

Tegangan Input	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV/mm)						Dielektrik Rata-rata
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	Uji ke-6	
100.0 kV	26°C	5,32	5,52	5,92	6,04	6,39	11,24	6,74

Dari hasil perhitungan kekuatan isolasi minyak, kemudian akan dibuat dalam bentuk grafik pada gambar 4.4 menggunakan program Microsoft Excel, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 4.4 Kurva Nilai Dielektrik Minyak Sedang Dipakai dengan Suhu 26°C**

Berdasarkan kurva gambar 4.4 diatas, didapatkan nilai kekuatan isolasi (*dielectric strenght*) pada minyak jenis Nynas Nitro Libra yang mempunyai kondisi bekas dipakai. Kekuatan isolasi yang didapatkan berkisaran 5,32kV – 11,24kV/2,5mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak transformator jenis bekas ini berada dibawah batas minimum standar yang sudah diterapkan yaitu sebesar 30kV/2,5mm yang berlandaskan SPLN No 49/1982 (*IEC 60422*). Nilai tegangan tembus akan berubah jika suhu minyak meningkat, maka ketika minyak ini digunakan pada transformator dan kemudian mengalami pembebanan yang mengakibatkan minyak menjadi panas, maka nilai tegangan tembus pada minyak bekas ini akan meningkat. Ini sesuai dengan pengujian yang sudah dilakukan pada 6x pengujian, bahwa nilai tegangan tembus akan berubah-ubah seiring dengan minyak yang memanans dikarenakan terdapat sumber tegangan input sebesar 100kV yang konstan dan ditambah dengan suhu lingkungan sekitar transformator.

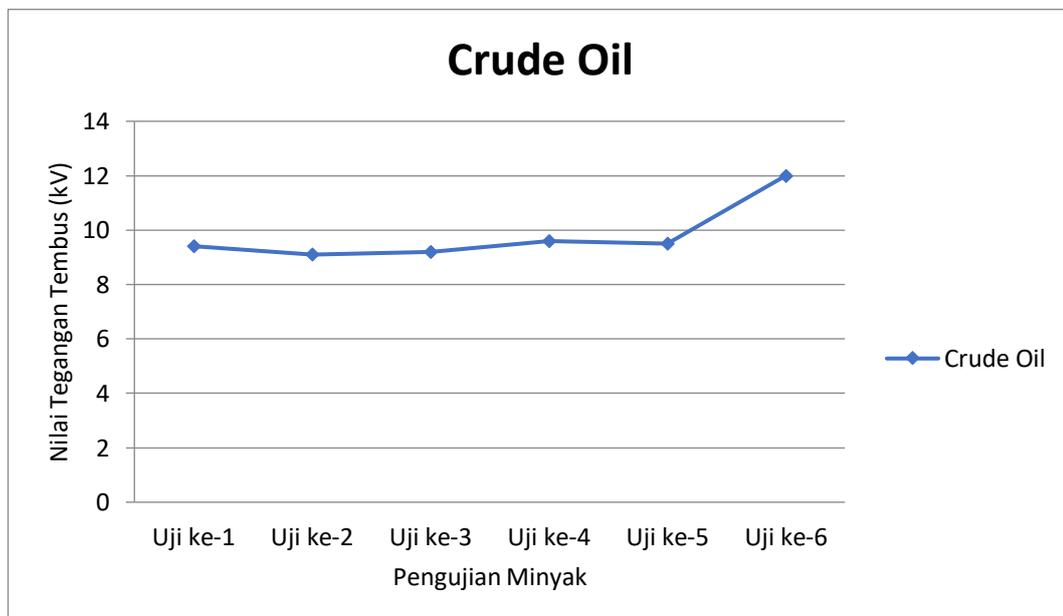
#### 4.2.7 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus *Crude Oil*

Berikut merupakan sampel *crude oil* transformator yang telah diuji berdasarkan paramter tegangan tembus dengan suhu kondisi lingkungan disekitar Gardu Induk PT. PLN sebesar 22°C. Pengujian *crude oil* dilaksanakan 6 kali pengujian yang disajikan dalam tabel 4.10 berikut:

**Tabel 4.10 Hasil Pengujian Tegangan Tembus *Crude Oil***

Tegangan Input	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV)						Tegangan Rata-rata
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	Uji ke-6	
100.0 kV	22°C	09.4	09.1	09.2	09.6	09.5	12.0	09.8

Dari hasil uji yang didapatkan pada pengujian tegangan tembus sebanyak 6x, akan dibuat kedalam bentuk grafik pada gambar 4.5 menggunakan program Microsoft Excel, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 4.5 Kurva Nilai Tegangan Tembus Minyak Jenis *Crude Oil* dengan Suhu Tetap 22°C**

Berdasarkan kurva gambar 4.5 terlihat bahwa dengan kondisi suhu yang sama terdapat perbedaan nilai tegangan tembus di setiap pengujian minyak Nynas Nitro Libra dengan kondisi *crude oil* pada 6x pengujian. Dari keenam gambar kurva diatas, kurva pengujian pertama sampai pengujian keenam mengalami nilai tegangan tembus yang naik turun, pada kurva pengujian keenam nilai tegangan tembus mempunyai nilai yaitu 12,0 KV. Dari keenam pengujian dapat kita lihat bahwa, walau suhu sekitar memiliki nilai tetap sebesar 22°C, tetapi hasil uji tegangan tembus tetap berubah-ubah. Maka, ketika minyak isolasi diberikan tegangan input sebesar 100.0 kV secara konstan, kondisi minyak akan memanaskan kemudian semakin tinggi suhu minyak maka nilai tegangan tembusnya akan semakin tinggi. Dari pengujian diatas, dapat disimpulkan sementara bahwa nilai tegangan tembus belum memenuhi batas standar minimum tegangan tembus untuk jenis minyak *crude oil* yaitu sebesar 50kV/mm<sup>2</sup> untuk kategori minyak transformator golongan B, dengan tegangan nominal 70kV – 170kV. Ini sesuai dengan standar *IEC 60422 Method for the determination of electric strength of insulation oils*.

Minyak Isolasi jenis *crude oil* merupakan minyak yang mempunyai banyak endapan dikarenakan terdapat partikel-partikel dari isolasi kertas yang meleleh ataupun lingkungan trafo bagian dalam yang mengelupas karena hasil proses oksidasi. Walau minyak ini sudah berwarna hitam, tetapi jika nilai tegangan tembusnya masih tinggi, maka dapat dikatakan masih layak dipakai untuk beberapa saat. Kemudian pada pengujian pertama memiliki nilai tegangan tembus awal sebesar 09,4kV, nilai tersebut karena suhu minyak masih menggunakan suhu sekitar PT. PLN yaitu sebesar 22°C, namun nilai tegangan tembus ini mengalami peningkatan yang signifikan sampai pada pengujian ke 6 yaitu sebesar 12,0. peningkatan ini disebabkan karena suhu minyak ketika diuji akan terus memanaskan, tetapi pada pengujian kedua dan pengujian ke kelima, nilai tegangan tembus turun, kesalahan ini terjadi dikarenakan ada resolusi tegangan dan akurasi alat penguji tegangan tembus sebesar 0,1 kV  $\pm 1\%$   $\pm 2\%$  dan juga

faktor kesalahan karena suhu, kelembapan dan kondisi bola-bola elektroda pengujian.

Dari hasil nilai rata-rata tegangan tembus pada tabel 4.10 diatas, maka dapat dihitung nilai kekuatan dielektrik:

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak jenis *crude oil* pada uji tes ke-1 dengan suhu 22°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{09.4}{2.5}$$

$$E = 3,76 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak jenis *crude oil* pada uji tes ke-2 dengan suhu 22°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{09.1}{2.5}$$

$$E = 3,64 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak jenis *crude oil* pada uji tes ke-3 dengan suhu 22°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{09.2}{2.5}$$

$$E = 3,68 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak jenis *crude oil* pada uji tes ke-4 dengan suhu 22°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{09.6}{2.5}$$

$$E = 3,84 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak jenis *crude oil* pada uji tes ke-5 dengan suhu 22°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{09.5}{2.5}$$

$$E = 3,8 \text{ kV/mm}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak jenis *crude oil* pada uji tes ke-6 dengan suhu 22°C.

$$E = \frac{V_{BD}}{d}$$

$$E = \frac{12.0}{2.5}$$

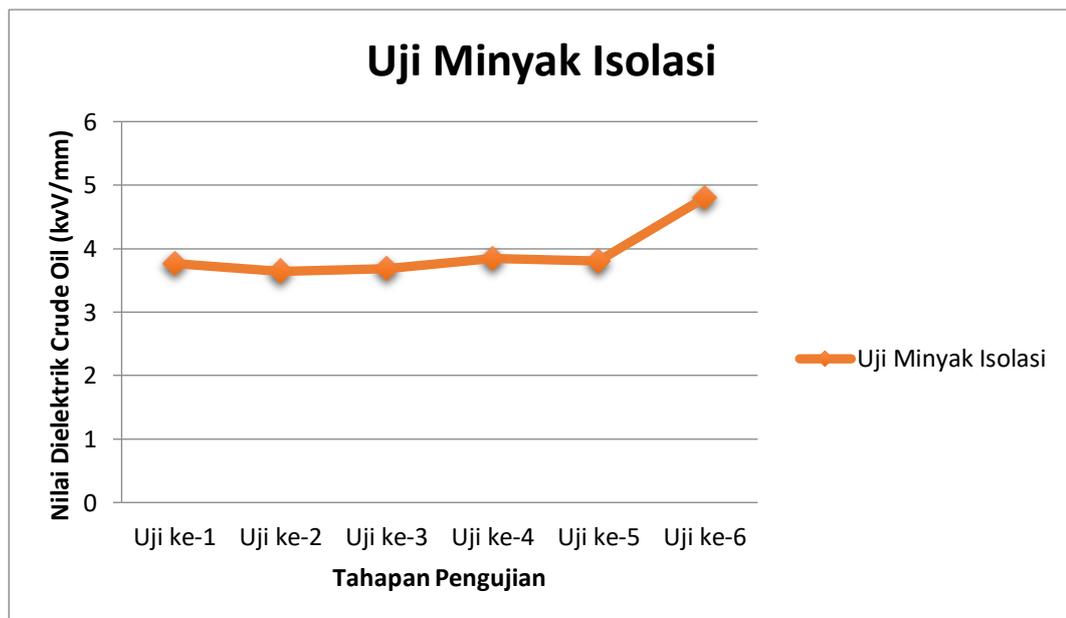
$$E = 4,8 \text{ kV/mm}$$

Dengan hasil perhitungan sampel minyak jenis *crude oil* dengan 6x pengujian diatas akan digunakan untuk mengetahui nilai *dielectric strenght* sebagai hasil yang akan digunakan untuk perbandingan dengan standar IEC 60422. Untuk mempermudah melihat hasil, maka tabel 4.11 dibawah ini akan meringkas hasil perhitungan diatas, yaitu:

**Tabel 4.11 Kekuatan Dielektrik Rata-Rata Minyak *Crude Oil***

Tegangan Input	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV/mm)						Rata-rata dielektrik
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	Uji ke-6	
100.0 kV	22°C	3,76	3,64	3,68	3,84	3,8	4,8	3,92

Dari hasil perhitungan kekuatan isolasi minyak, kemudian akan dibuat dalam bentuk grafik pada gambar 4.6 menggunakan program Microsoft Excel, yaitu sebagai berikut:

**Gambar 4.6 Kurva Nilai Dielektrik *Crude Oil* dengan Suhu Tetap 22°C**

Berdasarkan kurva gambar 4.6 diatas, didapatkan nilai kekuatan isolasi (*dielectric strenght*) pada minyak jenis Nynas Nitro Libra yang mempunyai kondisi *crude oil*. Kekuatan isolasi yang didapatkan berkisaran 3,76kV – 4,8kV/2,5mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak transformator jenis *crude oil* ini berada dibawah batas minimum standar yang sudah diterapkan yaitu sebesar 30kV/2,5mm yang

berlandaskan SPLN No 49/1982 (*IEC 60422*). Nilai tegangan tembus akan berubah jika suhu minyak meningkat, maka ketika minyak ini digunakan pada transformator dan kemudian mengalami pembebanan yang mengakibatkan minyak menjadi panas, maka nilai tegangan tembus pada minyak bekas ini akan meningkat. Ini sesuai dengan pengujian yang sudah dilakukan pada 6x pengujian, bahwa nilai tegangan tembus akan berubah-ubah seiring dengan minyak yang memanans dikarenakan terdapat sumber tegangan input sebesar 100kV yang konstan dan ditambah dengan suhu lingkungan sekitar transformator.