

# KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRAFO

Dedi Nugroho<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang

## ABSTRACT

*Insulation of transformer oil has a role as an insulating material of voltage equipment in electrical equipments, but has other uses such as cooling media or extinguish the arc. Purity insulating oil will determine the strength of the dielectric material. On the condition of purity used oil will be contaminated by other substances mixed in the oil, the result of oil will become impure and degraded dielectric strength that will ultimately reduce the level of insulation failure. Test results show that contaminants affect significantly lower levels of insulation failure, isolation and purification of used oil (no pure oil) was able to significantly increase the insulation failure rate of new oil approach.*

## ABSTRAK

*Isolasi minyak trafo memiliki peran sebagai bahan isolasi pada bagian-bagian bertegangan didalam peralatan-peralatan tenaga, disamping memiliki kegunaan lain seperti media pendingin ataupun pemadam busur api. Kemurnian minyak isolasi akan menentukan kekuatan bahan dielektrik. Pada kondisi minyak terpakai kemurnian akan terkontaminasi oleh zat-zat lain yang tercampur dalam minyak, akibatnya minyak menjadi tidak murni dan akan mengalami degradasi kekuatan dielektrik yang pada akhirnya akan menurunkan tingkat kegagalan isolasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan kontaminan mempengaruhi secara signifikan penurunan tingkat kegagalan isolasi, dan pemurnian minyak isolasi terpakai (minyak tak murni) mampu menaikkan tingkat kegagalan isolasi secara signifikan mendekati kondisi minyak baru.*

## 1. MINYAK TRAFO

Minyak trafo merupakan bahan isolasi cair, minyak ini secara luas digunakan sebagai bahan dielektrik pada berbagai peralatan tenaga seperti transformator, circuit breaker, switchgear, kabel daya, dsb. Sebagai bahan dielektrik minyak trafo dapat berfungsi ganda. Fungsi utama adalah sebagai media isolasi diantara bagian-bagian yang mengandung beda potensial agar tidak terjadi lompatan listrik (*flash-over*) atau percikan api (*spark-over*), dan fungsi

lainnya sebagai media pendingin pada trafo, kabel daya, atau sebagai media pemadam busur api pada circuit breaker. Minyak trafo mineral tersusun atas senyawa utama hydrocarbon yang terdiri atas senyawa hydrocarbon parafanik, senyawa hydrocarbon naftenik dan senyawa hydrocarbon aromatic. Selain ketiga senyawa itu masih mengandung senyawa tambahan zat aditif yang kandungannya kecil yang berguna untuk meningkatkan pengaruh oksidasi, penyerapan gas, dan sebagainya.

[Http://Jurnal.unimus.ac.id](http://Jurnal.unimus.ac.id)

Ada beberapa alasan mengapa bahan isolasi cair secara luas digunakan pada beberapa peralatan yaitu diantaranya bahan isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan bahan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi, bahan isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi, bahan isolasi dapat menghilangkan panas yang timbul akibat rugi-rugi energi, dan bahan isolasi cenderung akan memperbaiki sifatnya jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*). Bahan isolasi cair ideal adalah mempunyai nilai-nilai yang tinggi untuk kekuatan dielektrik, volume resistivitas, panas jenis, dan konduktivitasnya. Disamping itu bahan isolasi harus memiliki nilai-nilai yang rendah untuk faktor kerugian, kerapatan, dan kekentalan. Bahan isolasi cair juga harus memiliki sifat tidak menimbulkan korosi, tidak mudah menyala, tidak beracun, dan kestabilan kimia.

Ketika bahan isolasi (bahan dielektrik) cair tersebut digunakan pada peralatan listrik maka bahan dielektrik

tersebut akan dikenai tekanan – tekanan baik berupa tekanan elektrik maupun panas. Setiap bahan dielektrik memiliki batas kekuatan untuk memikul tekanan elektrik. Jika tekanan elektrik yang dipikul oleh bahan dielektrik melampaui batas kemampuannya maka bahan dielektrik akan menghantarkan arus (tembus listrik/ *breakdown*) dan mengalami kegagalan sebagai isolator. Kemampuan bahan dielektrik untuk memikul tekanan elektrik tertinggi tanpa menimbulkan tembus listrik disebut kekuatan dielektrik.

Adanya bahan-bahan material lain yang terkandung dalam bahan isolasi cair seperti oksigen, air, endapan, kotoran-kotoran hasil dekomposisi bahan padat, dapat menimbulkan degradasi kekuatan bahan dielektrik cair. Penurunan kekuatan dielektrik berdampak pada penurunan tingkat kegagalan isolasi. Pada minyak terpakai penurunan tingkat kegagalan isolasi harus dijaga agar tidak melebihi batas yang diizinkan seperti ditunjukkan dalam tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi minyak trafo terpakai yang diizinkan

NO	Sifat	Tegangan Peralatan	Batas Yang Dijinkan	Metode Uji
1	Tegangan Tembus	$\geq 170$ 70-170 $\leq 70$	$\geq 50KV/2.5mm$ $\geq 40KV/2.5mm$ $\geq 30KV/2.5mm$	IEC 156
2	Kandungan Air	$\geq 170$ $\leq 170$	$\leq 20 \text{ mg/l}$ $\leq 30 \text{ mg/l}$	IEC R760
3	Factor Kebocoran Dielektrik	Semua Tegangan	$\leq 0.2-2.0$	IEC 247 & IEC 250
4	Tahanan Jenis	Semua Tegangan	10 GOhm-m	IEC 93 & IEC 247
5	Angka Kenetralan	Semua Tegangan	$\leq 0.5 \text{ mgKOH/gr}$	IEC 296
6	Sedimen	--	Tidak Terukur	IEC 296
7	Titik Nyala	--	Pemanasan Maksimum 150C	IEC 296
8	Tegangan Permukaan	--	$\geq 15 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$	IEC 296
9	Kandungan Gas	$\geq 170$	--	Sedang Digarap IEC

## 2. KONTAMINASI PADA MINYAK TRAFO

Pada transformator, minyak trafo berguna untuk menyekat diantara bagian-bagian yang memiliki beda potensial agar tidak menimbulkan loncatan listrik atau busur api. Disamping itu minyak trafo berguna juga sebagai media pendingin pada inti dan kumparan trafo akibat rugi-rugi energi, sehingga trafo dapat beroperasi secara optimal dengan efisiensi yang tinggi. Kemurnian minyak trafo merupakan hal terpenting untuk menjaga kekuatan dielektrik minyak, namun pada prakteknya kemurnian minyak isolasi akan terganggu oleh berbagai penyebab seperti pada proses pernapasan trafo dimana udara lembab akan masuk kedalam minyak

trafo sehingga menimbulkan gelembung-gelembung air, pemakaian trafo pada suhu tinggi pada waktu lama dapat menimbulkan penuaan, berakibat warna minyak menjadi lebih gelap dikarenakan pembentukan asam dan resin atau endapan. Sebagian besar asam dapat mengakibatkan korosi pada bagian-bagian transformator seperti pada bagian isolasi padat transformator atau bagian-bagian metal transformator. Tumpukan – tumpukan endapan atau kotoran pada inti, kumparan atau bagian dalam oil duck akan menurunkan sirkulasi minyak yang dapat menimbulkan penurunan transfer panas.

Keberadaan zat-zat kontaminan seperti gelembung air, gelembung udara, gas terlarut, endapan-endapan atau

kotoran-kotoran, debu, dan sebagainya pada minyak isolasi sudah tentu akan mengakibatkan degradasi kekuatan bahan isolasi minyak, sehingga menimbulkan penurunan tingkat tegangan kegagalan isolasi.

### 3. PEMURNIAN MINYAK TRAF0

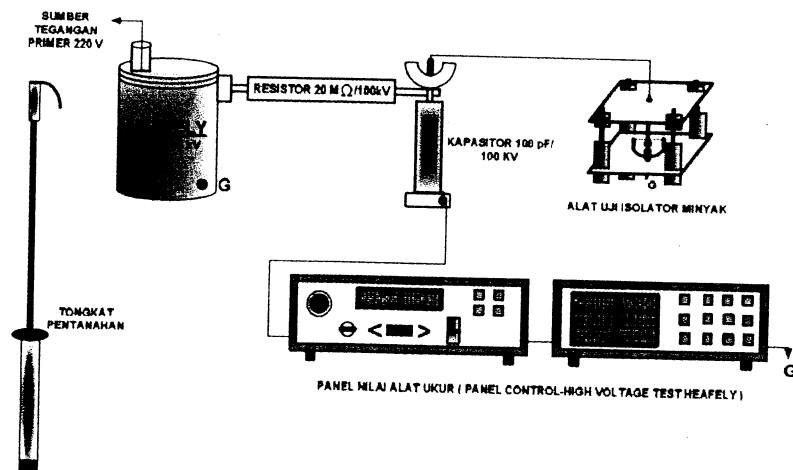
Pemurnian minyak trafo bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan kontaminan yang terkandung didalam minyak sehingga kekuatan dielektrik minyak dapat meningkat kembali. Ada berbagai teknik pemurnian minyak seperti filterisasi, Partikel-partikel padat seperti debu, endapan, dan sejenisnya yang terkandung dalam minyak dapat termuati oleh muatan listrik, hal ini akan menurunkan kekuatan dielektrik, oleh karena itu untuk memisahkan partikel-partikel tersebut dari minyak isolasi digunakan teknik filterisasi. Adanya gas-gas terlarut seperti karbondioksida dan oksigen secara signifikan akan mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak, hal ini karena gas-gas terlarut memiliki kekuatan dielektrik yang lebih rendah dibandingkan minyak trafo. Untuk menghilangkan gas-gas tersebut dapat dilakukan dengan *distilaton* dan *degassing*, sedangkan untuk menghilangkan kandungan air dapat dilakukan dengan vakum pengering.

### 4. PENGUJIAN MINYAK TRAF0

Pengujian minyak trafo dilakukan baik untuk kondisi baru ataupun terpakai. Sebelum minyak trafo digunakan (minyak baru), perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat-sifat trafo (umumnya pengujian kegagalan isolasi), begitupula saat minyak sedang digunakan, secara rutin dalam jangka waktu tertentu minyak perlu diuji kembali, karena setelah dipakai minyak menjadi terkontaminasi, oleh karena itu jika diketahui batas kegagalan isolasi telah menurun melampaui batas yang direkomendasikan, maka minyak trafo perlu dilakukan pemurnian kembali. Pada penelitian ini akan dilakukan untuk minyak trafo dalam berbagai kondisi yaitu pada kondisi minyak trafo baru, minyak terpakai, minyak dalam keadaan berubah suhu dan minyak yang dikontaminasi.

Pengujian dilakuan dengan peralatan uji seperti ditunjukkan dalam gambar 2. Alat uji minyak berupa elektroda bola-bola berdiameter 2,5 cm, trafo uji tegangan tinggi dengan kapasitas tegangan max. 100kV, pengontrol tegangan, resistor 20 M $\Omega$ /100 kV yang berguna untuk membatasi arus, kapsitor 100pf/100 kV, dan tongkat pentanahan yang berfungsi untuk membuang muatan tegangan sisa setelah melakukan

pengujian dan membuang muatan pada saat tegangan tembus.

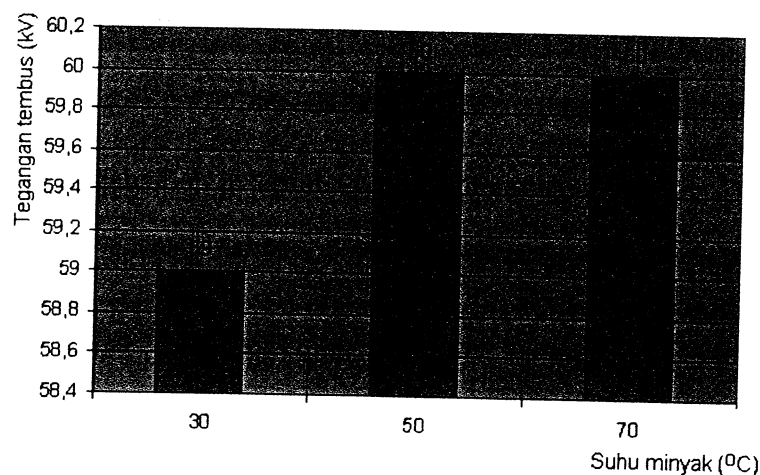


Gambar 2. Rangkaian uji tegangan tembus minyak trafo

#### 4.1 PENGUJIAN MINYAK TRAFU BARU

Pada prakteknya minyak trafo akan mengalami tekanan panas yang diakibatkan oleh rugi-rugi energi. Sebagai contoh aplikasi minyak trafo pada transformator akan memiliki suhu minyak yang berubah-ubah seiring dengan perubahan beban. Agar

mengetahui seberapa jauh perubahan suhu minyak trafo terhadap kegagalan isolasi minyak, maka dilakukan pengujian minyak pada beberapa suhu berbeda (dalam sampel pengujian diambil tiga keadaan temperatur berbeda yaitu 30°C, 50°C dan 70°C). Bahan uji merupakan minyak trafo shell Diala B dalam kondisi baru (belum terpakai).



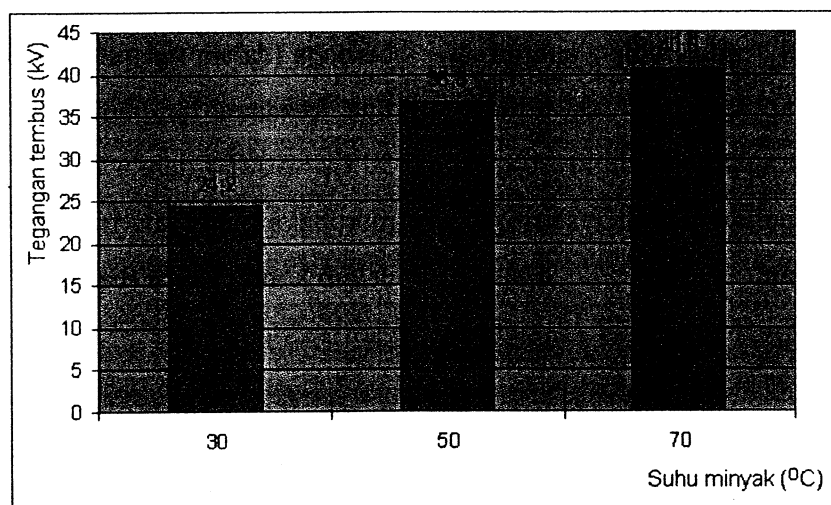
Gambar 3. Grafik tegangan tembus minyak baru terhadap suhu minyak trafo

Pada saat pengujian dilakukan data – data spesifik yang berkaitan adalah : Suhu udara sekitar adalah rata-rata 30°C, volume minyak trafo uji adalah 140 ml, lebar sela elektroda 5 mm, dan diameter bola-bola 2,5 mm. Hasil pengujian ditunjukkan dalam grafik dibawah ini. Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk kondisi minyak trafo baru , dengan demikian kondisi minyak trafo masih terjaga kemurniannya dan belum terkontaminasi. Hasil pengujian ditunjukkan dalam gambar 3. Dari hasil pengujian terlihat bahwa pada suhu berbeda, perbedaan tingkat tegangan tembus untuk kondisi suhu berbeda relatif

kecil, hal ini disebabkan minyak masih terjaga kemurniannya, sehingga belum tercampur dengan bahan-bahan kontaminan, dengan demikian kenaikan suhu minyak berdampak relatif kecil terhadap tegangan tembusnya.

#### 4.2 PENGUJIAN MINYAK TRAF0 TERPAKAI

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk kondisi minyak terpakai, dimana sampel minyak diambil langsung dari transformator yang sedang beroperasi. Mekanisme dan data spesifik sama dengan pengujian sebelumnya, kecuali kondisi minyak trafonya.



Gambar 4. Grafik tegangan tembus minyak terpakai terhadap suhu minyak

Hasil pengujian pada gambar 4 menunjukkan terjadinya penurunan tegangan tembus pada minyak terpakai dibandingkan kondisi minyak trafo baru. Sebagai contoh pada suhu minyak 30°C,

untuk minyak baru tegangan tembus mmencapai 59 kV, sedangkan kondisi terpakai pada suhu yang sama turun secara signifikan mencapai 24,2 kV. Penurunan ini disebabkan kekuatan

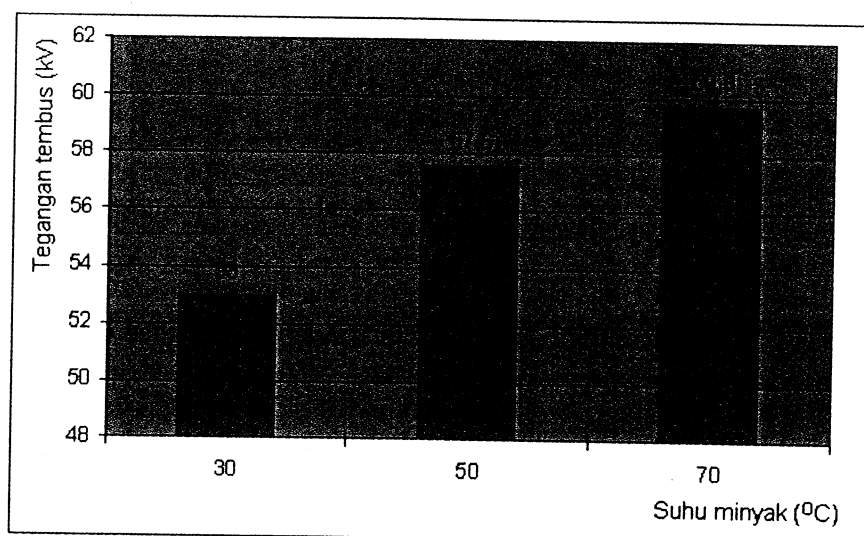
dielektrik minyak mengalami degradasi akibat adanya bahan-bahan kontaminan yang tercampur dalam minyak sehingga minyak menjadi tidak murni lagi.

Berdasarkan grafik pengujian diatas terlihat bahwa semakin panas suhu temperatur akan mengakibatkan semakin naiknya nilai tegangan tembus, hal ini berarti semakin naik temperatur maka semakin tinggi kekuatan dielektrik minyak isolasi. Pada grafik terlihat pada pengujian dengan suhu minyak 30°C, tegangan tembus adalah 22,9512 kV dan pada suhu minyak 70°C, tegangan tembus naik mencapai 59,3404°C. Pada suhu rendah biasanya minyak akan mengandung kelembaban yang lebih tinggi jika dibandingkan pada suhu yang lebih tinggi, karena unsur-unsur kelembaban atau gelembung air akan turut menguap, dan ini akan menaikkan

kekuatan dielektrik bahan isolasi minyak itu sendiri. Berdasarkan hasil pengujian ini terlihat jelas bahwa bahan-bahan kontaminan secara signifikan akan mempengaruhi perubahan tegangan tembus untuk setiap perubahan suhu minyak.

#### 4.3 PENGUJIAN MINYAK YANG TELAH DIMURNIKAN KEMBALI

Pengujian berikutnya dilakukan untuk kondisi minyak terpakai yang dimurnikan kembali melalui teknik filterisasi, *degassing*, dan pengeringan. Hasil minyak yang telah dimurnikan digunakan untuk bahan pengujian. Mekanisme pengujian sama dengan pengujian sebelumnya. Hasil-hasil pengujian ditunjukkan dalam gambar 5 dibawah ini.

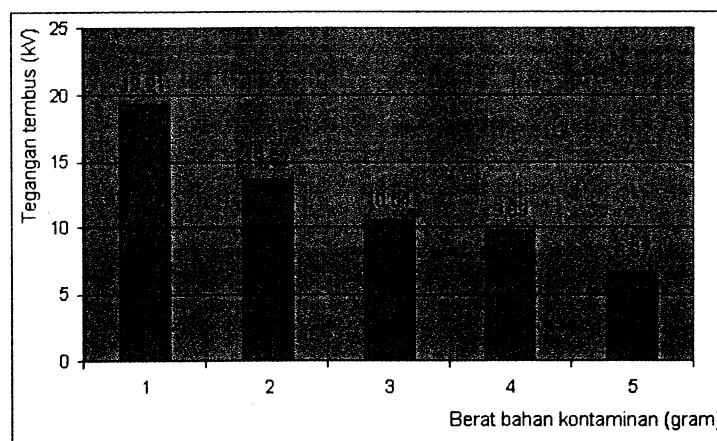


Gambar 5. Grafik tegangan tembus minyak yang dimurnikan terhadap suhu minyak

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemurnian minyak terpakai secara signifikan akan meningkatkan kembali kekuatan bahan dielektrik minyak. Sebagai contoh pada suhu 30°C, sebelum dimurnikan, tegangan tembus minyak adalah 22,95 kV, dan setelah dimurnikan meningkat menjadi 53°C, mendekati kondisi minyak baru 59°C pada suhu yang sama. Meningkatnya kekuatan bahan dielektrik ini disebabkan bahan-bahan kontaminan dalam minyak telah dihilangkan sehingga minyak menjadi murni kembali.

#### 4.4 PENGARUH BAHAN KONTAMINAN TERHADAP KEGAGALAN ISOLASI

Pada pengujian terakhir akan diuji pengaruh jumlah bahan kontaminan terhadap tegangan tembus minyak trafo. Pada pengujian ini suhu minyak 29°C, lebar sela bola 5 cm, volume minyak 140 ml, dan diameter bola 2,5 cm. Bahan kontaminan padat dengan berat 1 gram dicampurkan minyak isolasi tersebut, untuk dilakukan pengujian. Selanjutnya pengujian dilakukan kembali untuk setiap kenaikan 1 gram bahan kontaminan. Hasil pengujian ditunjukkan dalam gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 grafik tegangan tembus minyak terhadap berat bahan kontaminan

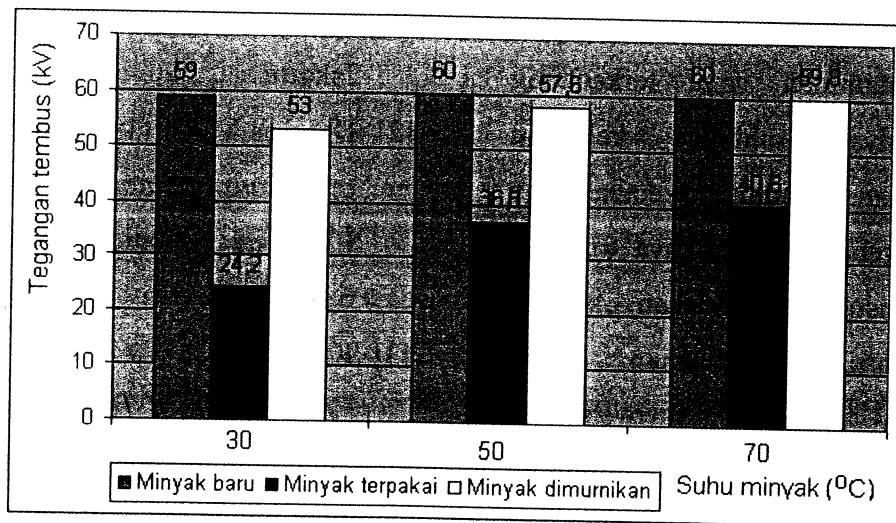
Berdasarkan gambar 6 tersebut dapat diamati, bahwa tegangan gagal isolator minyak cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jumlah

bahan kontaminan. Penurunan tegangan gagal ini disebabkan karena partikel-partikel memiliki permitivitas yang lebih besar dari permitivitas zat cair, suatu



gaya akan terjadi pada partikel yang mengarahkannya ke daerah yang

memiliki tekanan elektrik maksimum diantara kedua elektroda.



Gambar 7 grafik perbandingan beberapa kondisi minyak isolasi

Semakin banyak partikel (*kontaminan*) yang diberikan maka tegangan gagal yang dihasilkan semakin kecil, hal ini diakibatkan butiran-butiran partikel tersebut akan sejajar diantara kedua elektroda sebagai jembatan yang mengawali terjadinya tegangan gagal isolator. Karena partikel yang digunakan dalam pengujian tersebut lembab maka gaya ini makin kuat karena permitivitas air tinggi. Partikel yang lain akan tertarik ke daerah yang bertekanan tinggi hingga partikel partikel tersebut bertautan satu dengan lainnya karena adanya medan. Hal ini menyebabkan terbentuknya jembatan hubung singkat antarakedua elektroda sehingga mengakibatkan tegangan gagal.

Kegagalan Isolasi Minyak Trafo

Perbandingan beberapa kondisi minyak (minyak baru, terpakai dan dimurnikan) terhadap kondisi tegangan tembus untuk berbagai nilai suhu minyak di tunjukkan dalam gambar 7 diatas. Terlihat bahwa pada minyak terpakai terjadi penurunan tingkat tegangan tembus secara signifikan, dan setelah minyak dimurnikan kembali, tegangan tembus kenaikan mendekati kondisi minyak baru.

## 5. KESIMPULAN

Bahan-bahan kontaminan seperti debu, gelembung air, oksigen, gas-gas terlarut, lumpur, endapan, dan sebagainya yang terkandung dalam minyak trafo akan mengakibatkan degradasi kekuatan

bahan dielektrik dan menyebabkan penurunan tingkat kegagalan isolasi secara signifikan. Pemurnian minyak isolasi bertujuan untuk menghilangkan zat-zat kontaminan yang terkandung dalam minyak sehingga kekuatan dielektik akan meningkat kembali dan akan menyebabkan naiknya tingkat kegagalan isolasi mendekati kondisi minyak baru. Penambahan bahan kontaminan akan menyebabkan penurunan secara signifikan terhadap tegangan tembus minyak. Pengujian minyak terpakai secara berkala dan memurnikannya kembali bila diketahui kondisi minyak telah melampaui batas yang diizinkan, merupakan tindakan terbaik untuk menjaga kualitas minyak isolasi agar dapat berfungsi dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bonggas L. Tobing, (2003), "*Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*", PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- [2] Danikas M. G (1990), "*Breakdown of Transformer Oil*", IEEE Electrical Insulation Magazines Vol. 6 No.5.
- [3] Kawaguchi, Y, et. Ai, (1972), "*Breakdown of Transformer Oil*", IEEE Trans. On Power App. Syst. Vol. Pas-91 No.1 p.9-19.
- [4] Maidu, M.S.,(1995), "*High Voltage Engineering*", Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- [5] Malik, N.H., Al-Arainy, A.A, Qureshi, M.I., (1997), "*Electrical Insulation in Power Systems*", Marcel Dekker Inc. New York.
- [6] Syamsir Abduh,(2003) "*Teori Kegagalan Isolasi*", Penerbit Universitas Trisakti Jakarta.