

## STUDI PENUAAN MINYAK TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Sofyan<sup>1)</sup>, Ruslan L<sup>1)</sup>, Agus Efendi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

<sup>2)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

This study aims to: (1) Determine the effect of transformer oil usage on the dielectric characteristics, physical properties and chemical properties of transformer oil, (2) know the effect of transformer loading level on the characteristics of dielectric, physical properties and chemical properties of transformer oil, and (3) know the correlation between the level of loading and the service life of transformer oil.

The results showed that the physical and chemical properties of transformer oil increasingly experienced deterioration that is the color of the oil became darker, viscosity values experienced an average increase of 0.528 Cst per year, the flash point was lower with an average reduction rate of 4.4827 °C per year, levels the acid gets higher with an average increase of 0.00137 KOH/gram per year, as well as the electrical properties of transformer oil also experience deterioration namely the penetrating voltage decreases an average of 3.885 kV/cm

**Keywords:** *Aging, Transformer Oil, Transformer Distribution*

### 1. PENDAHULUAN

Pada umumnya pada suatu transformator tegangan tinggi terbagi dalam beberapa bagian utama yaitu inti besi, kumparan transformator, bushing, peralatan proteksi (berbagai macam rele), tangki konservator dan sistem isolasi berupa isolasi cair (minyak transformator) dan isolasi padat (kertas/selulosa). Dari beberapa bagian utama yang ada pada transformator tersebut, sistem isolasi yang terdiri dari minyak transformator dan isolasi kertas merupakan bagian paling utama yang perlu pemeliharaan dengan baik.

Kelangsungan operasi dan umur dari transformator sangat bergantung pada umur dan kualitas sistem isolasinya. Salah satunya adalah kualitas dari sistem isolasi minyak transformator. Minyak transformator selain berfungsi sebagai isolasi dan pendingin, juga mempunyai sifat dapat melarutkan gas-gas yang timbul akibat kerusakan sistem isolasi baik isolasi padat (*cellulose*) maupun isolasi cair (minyak transformator) selama dalam operasinya. Selama transformator beroperasi maka di dalam minyak transformator akan mengalami beban berupa medan listrik dan juga beban thermal yang berasal baik dari belitan maupun inti trafo. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan minyak trafo akan mengalami penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia. Selain itu juga menyebabkan timbulnya gas-gas terlarut yang berada dalam minyak transformator.

Berbagai faktor yang diperkirakan mempengaruhi ketahanan minyak transformator seperti luas daerah elektroda, jarak celah (*gap spacing*), pendinginan, perawatan sebelum pemakaian (elektroda dan minyak), pengaruh kekuatan dielektrik dari minyak transformator yang diukur serta kondisi pengujian minyak transformator itu sendiri juga mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak transformator. Ketahanan isolasi minyak dapat juga dipengaruhi oleh kondisi iklim, yaitu berupa suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Karakteristik pada isolasi minyak trafo akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya akibat lama pemakaian serta tingkat pembebanan yang bervariasi. Pemakaian transformator dengan beban yang cukup tinggi menyebabkan kuat medan dan temperatur yang tinggi. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan.

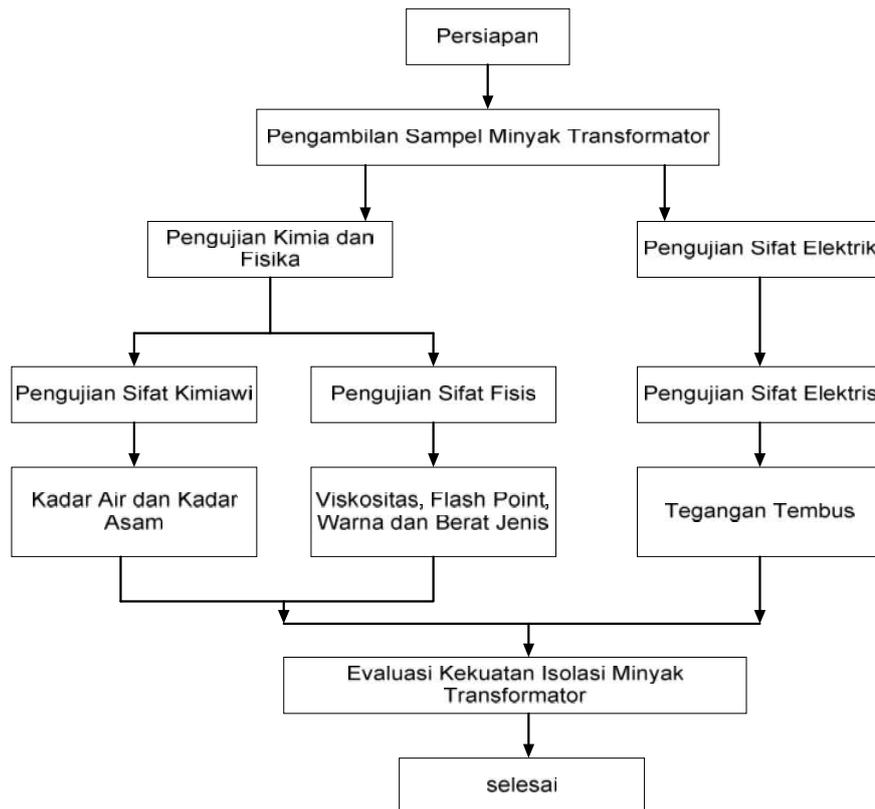
### 2. METODE PENELITIAN

#### A. Rancangan Penelitian

Alur rancangan penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:

---

<sup>1)</sup>Korespondensipenulis: Sofyan, Telp 0811425233, sofyantato@poliupg.ac.id



Gambar 1. Bagan rancangan penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan pengukuran dan pengujian terhadap sampel minyak transformator yang telah dipakai selama waktu operasi tertentu dengan pembebanan yang berbeda dengan mengambil salah satu jenis minyak transformator tertentu yang banyak digunakan oleh PT.PLN, yaitu minyak mineral Diala B (shell oil).

Tahapan penelitian ini adalah:

1. Pengukuran sifat-sifat fisik meliputi : uji viskositas, uji titik nyala (*flash point*), berat jenis dan pengamatan warna .
2. Pengujian sifat kimia yang akan diketahui adalah kadar air, dan kadar asam.
3. Pengujian sifat listrik yang akan diketahui adalah tegangan tembus ( $V_{BD}$ ).

### B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal 1 Mei 2018 sampai dengan tanggal 30 Juli 2018 pada beberapa lokasi. Pengambilan sampel minyak pada penelitian ini dilaksanakan di wilayah kerja PT. PLN (Persero) Wilayah Sulselrabar khususnya pada beberapa transformator gardu distribusi wilayah PT. PLN area Makassar. Pengujian karakteristik dielektrik dilakukan di Workshop pemeliharaan listrik kontrol unit PLTGU Sektor Tello dan pengujian karakteristik fisika dan kimia sampel minyak transformator dilakukan di Laboratorium Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.

### C. Sampel Pengujian

Pada penelitian ini, sampel yang digunakan berjumlah 11 macam yang terdiri dari minyak baru dan minyak bekas dengan umur dan pola pembebanan yang berbeda.

Pemberian nama sampel diurut berdasarkan abjad dari A – K, untuk mempermudah dalam mengerjakan pengujian dan menganalisis hasilnya, dimana pengurutan ini berdasarkan umur transformator. Data lengkap kondisi dari setiap sampel dapat dilihat pada lampiran 1. Sampel minyak transformator ini diambil pada saat *onload* masing-masing kurang lebih satu liter untuk setiap transformator, dan pengambilannya mengikuti jadwal pemeliharaan pada PT. PLN Area Makassar Selatan.

### E. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Pengukuran dan pengujian dilakukan terhadap beberapa sifat-sifat fisik, sifat kimia, dan sifat elektrik dengan menggunakan metode pengujian dan pengukuran berdasarkan standar IEC, ASTM dan SPLN.
- Melakukan pengamatan dan observasi data primer dari alat-alat ukur laboratorium dan instalasi pengujian tegangan tinggi.
- Hasil pengukuran dan pengujian dari sampel, kemudian dibandingkan dengan spesifikasi standar yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Data sampel minyak transformator yang digunakan

| NO | KODE SAMPEL | NAMA LOKASI     | DAYA (KVA) | JML FASA | MEREK    | Rata-rata Beban (%) | UmurTrafo (Tahun) |
|----|-------------|-----------------|------------|----------|----------|---------------------|-------------------|
| 1  | A           | MinyakBaru      | -          | -        | -        | -                   | -                 |
| 2  | B           | Jln. Hertasning | 160        | 3        | starlite | 74.5                | 1                 |
| 3  | C           | JlnHertasning   | 100        | 3        | Trafindo | 62                  | 1                 |
| 4  | D           | JlnHertasning   | 100        | 3        | Unindo   | 77.5                | 5                 |
| 5  | E           | JlnBau Mangga   | 200        | 3        | Trafindo | 93.5                | 5                 |
| 6  | F           | Jln. BauMaangga | 50         | 3        | Kaltra   | 90.5                | 13                |
| 7  | G           | Perintis km 12  | 200        | 3        | Unindo   | 89                  | 13                |
| 8  | H           | Perintis KM 12  | 50         | 3        | Nico     | 69                  | 25                |
| 9  | I           | Perintis KM 12  | 160        | 3        | Unindo   | 71.5                | 26                |
| 10 | J           | Perintis KM 12  | 200        | 3        | Unindo   | 92                  | 26                |
| 11 | K           | Perintis KM 12  | 160        | 3        | starlite | 79                  | 29                |

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengukuran Sifat-Sifat Minyak

Berdasarkan tabel 2 data hasil pengujian tegangan tembus di atas, sampel A (minyak baru) hanya memiliki kekuatan tembus sebesar 168, 8 kV dimana sesuai standar seharusnya  $\geq 200$  kV. Hal ini kemungkinan disebabkan kesalahan pada saat pengambilan sampel dan pengaruh selang waktu pengambilan sampel dengan waktu pengujian di laboratorium. Sedangkan sampel minyak yang lain yaitu sampel B, C, D E, F, G, H, I, DAN J memiliki tegangan tembus di atas level standar yaitu lebih besar dari 30 kV/2,5 mm, atau di atas 80 kV/ Cm untuk minyak pakai, kecuali sampel K tegangan tembusnya sudah di bawah standar yaitu sebesar 62,4 kV/cm. Hal ini disebabkan karena kondisi dari transformator tersebut memang sudah rusak.

Kekuatan dielektrik suatu minyak transformator dipengaruhi oleh kadar air dan partikel yang terkandung dalam minyak transformator. Partikel-partikel konduktif yang terbentuk akibat kontaminasi atau oksidasi secara drastis akan mengurangi kekuatan minyak transformator. Jadi faktor-faktor yang berpengaruh pada kekuatan isolasi suatu minyak transformator adalah struktur molekul, ketidakhomogenan, temperatur, dan kelembaban. Proses terjadinya tegangan tembus karena pengotoran partikel padat dapat dijelaskan berdasarkan Teori Endapan Partikel (*Suspended Particle Theory*).

Permitivitas partikel ( $\epsilon_2$ ) berbeda dengan permitivitas minyak ( $\epsilon_1$ ). Pada umumnya permitivitas partikel lebih besar daripada permitivitas minyak ( $\epsilon_2 > \epsilon_1$ ). Jika dianggap partikel ini berbentuk bola dengan jari-jari  $r$ , dan jika diberikan medan listrik ( $E$ ), kemudian timbul sebuah gaya ( $F$ ) dimana:

$$F = \frac{1}{2} r^2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_2 + \epsilon_1} g E^2$$

Gaya ini mengarahkan partikel ke tempat yang memiliki tekanan elektrik maksimum di antara kedua elektroda. Jika jumlah partikel ini banyak, mereka akan bergabung karena adanya gaya ini dan membentuk sebuah rantai jembatan pada celah elektroda.

Menguji dan mengukur tegangan tembus sampel minyak transformator baru dengan cara memberikan temperatur berbeda pada setiap sampel uji dari temperatur ruang ( $30^{\circ}\text{C}$ ) sampai pada temperatur  $70^{\circ}\text{C}$  dengan

interval 5<sup>0</sup>C. Perlakuan ini bertujuan untuk mengetahui suhu kerja maksimum minyak transformator dengan melihat karakteristik tegangan tembus minyak transformator pada setiap temperatur.

Hasil dari pengujian tegangan tembus ini dapat dilihat pada tabel 2. Berdasarkan pengujian ini juga memperlihatkan bahwa minyak transformator jenis shell diala B diproduksi dengan kekuatan dielektrik maksimum berada pada suhu 75<sup>0</sup> C atau berada pada kelas F dari kelas isolasi. Kondisi ini juga berkaitan dengan penetapan nilai rugi belitan dan tegangan impedansi pada transformator yang ditetapkan pada suhu acuan 75<sup>0</sup>C, berdasarkan SPLN D3.002-1:2007.

Berdasarkan publikasi IEC 354, *Loading Guide Oil Immersed Transformer First Edition (1972)* yang telah ditetapkan menjadi Standar PLN, menjelaskan bahwa standar pembebanan transformator distribusi pada suhu titik panas belitan sebesar 98<sup>0</sup> C, maka transformator distribusi akan mengalami pemburukan isolasi. Suhu 98<sup>0</sup> C ini ditetapkan berdasarkan suhu sekitar sebesar 20<sup>0</sup>C.

1. Pengujian sifat-sifat fisik

a. Pengujian Warna

Warna dan kejernihan suatu minyak transformator cukup penting untuk diketahui karena dapat dijadikan indikator awal untuk mengevaluasi kualitas suatu minyak transformator. Dengan menyentuh, melihat dan mencium baunya saja, dapat diketahui kualitas suatu minyak transformator. Oleh sebab itu masalah warna dan kejernihan suatu minyak transformator menjadi suatu persyaratan dalam SPLN 33 tahun 1980.

Berdasarkan tabel 1 di atas, pada sampel A (minyak baru) warna minyak terlihat putih jernih dan masih sama dengan skala 0 (nol), sehingga berdasarkan persyaratan dalam SPLN 33 tahun 1980 dan ASTM D877, yang menetapkan warna dan kejernihan maksimum minyak transformator sama dengan 3,5 skala warna (*gardner scale*). Ini berarti bahwa semua sampel minyak yang telah diuji mempunyai skala warna yang masih dalam standar.

b. Pengujian Berat jenis

Berat jenis sangat penting dipertimbangkan pada minyak transformator karena berkaitan dengan homogenitas minyak dan pengapungan endapan atau lumpur yang dapat menimbulkan kebakaran. Berdasarkan hasil pengukuran di atas terlihat bahwa pada sampel D, E dan F, berat jenisnya lebih besar dibanding dengan sampel yang lain. Hal ini disebabkan karena tingkat pembebanan dari ketiga sampel tersebut lebih dari 75 % atau sudah mengalami *over load*. akan tetapi secara keseluruhan hasil pengukuran berat jenis ini masih sesuai standar IEC 296 / 1969 yaitu ≤ 0,895 gr/ cm , dan ASTM D 1298 yaitu 0,84 – 0,91 gr/cm.

c. Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dengan metode Engler ini dilakukan pada suhu 30<sup>0</sup>C (suhu ruang). dengan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2. Dari hasil pengukuran viskositas atau waktu alir dengan menggunakan metode Engler seperti yang terlihat pada tabel 1 di atas, dibandingkan dengan waktu alir air sebagai standar, dengan menggunakan rumus :

$$V_E = t_{oil} / t_{air}$$

Dimana :  $V_E$  = Viskositas (Engler)

$t_{oil}$  = Waktu alir dari hasil pengujian (detik)

$t_{air}$  = Waktu alir air murni ( 51,5 detik)

Contoh perhitungannya yaitu :

Untuk sampel A (minyak Baru)

$$V_E = ((1 \times 60) + 41,36) / 51,5 = 1,968^0 \text{ Engler}$$

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pengujian

| SampelMinyak | UmurTr afo (tahun) | Rata-Rata persentasebeban | KondisiTr afo | Tegangante mbus (kV/cm) | Viscosi tas (Cst) | Nilai PengujianW arna | Flash Point (° C) | Beratje nis (gr/cm ) | Nilai Kadar Air (%) | Nilai KadarAs am (mg KOH/gr) |
|--------------|--------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|
| A            | 0                  | 0                         | Baru          | 168,8                   | 11,44             | 0                     | 143               | 0,82                 | 0                   | 0,030                        |
| B            | 1                  | 74,5                      | Normal        | 128,8                   | 12,47             | 0                     | 146               | 0,81                 | 0                   | 0,030                        |
| C            | 1                  | 62                        | Normal        | 100,8                   | 10,70             | 0                     | 143               | 0,82                 | 0                   | 0,030                        |
| D            | 5                  | 77,5                      | OL 3 fasa     | 92,8                    | 14,06             | 0,5                   | 135               | 0,875                | 0,01                | 0,045                        |

|   |    |      |           |      |       |     |     |       |      |       |
|---|----|------|-----------|------|-------|-----|-----|-------|------|-------|
| E | 5  | 93,5 | OL 3 fasa | 77,6 | 13,69 | 1   | 141 | 0,875 | 0,01 | 0,045 |
| F | 13 | 90,5 | OL 1 fasa | 83,2 | 13,52 | 1   | 132 | 0,875 | 0,01 | 0,045 |
| G | 13 | 89   | OL 3 fasa | 95,2 | 15,97 | 1   | 130 | 0,865 | 0,01 | 0,040 |
| H | 25 | 69   | Normal    | 82,4 | 20,21 | 3   | 127 | 0,865 | 0,02 | 0,040 |
| I | 26 | 71,5 | Normal    | 84   | 20,62 | 3   | 128 | 0,865 | 0,02 | 0,040 |
| J | 26 | 92   | OL 3 fasa | 84   | 20,46 | 3   | 120 | 0,86  | 0,01 | 0,045 |
| K | 29 | 79   | Rusak     | 62,4 | 15,45 | 3,5 | 85  | 0,87  | 0,02 | 0,050 |

Dari tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa pada sampel A (minyak baru) nilai viskositasnya sebesar 11,436 Cst. Hal ini berarti sesuai dengan standar BS 148 / 1959 dan JIS 2320 /1978 yang menetapkan nilai viskositas untuk minyak baru harus  $\leq 18$  Cst. Kemudian untuk sampel B sampai dengan sampel J juga menunjukkan nilai viskositas yang masih dalam batas standar yaitu harus  $\leq 22$  Cst untuk minyak yang terpakai. Sedangkan untuk sampel K (trafo rusak) menunjukkan nilai viskositas lebih rendah dibanding nilai viskositas dari sampel minyak yang masih terpakai (B – J) yaitu sebesar 15,452 Cst. Hal ini dapat diartikan bahwa nilai viskositas dari minyak transformator bukan merupakan indikator yang sangat penting penyebab dari rusaknya sebuah transformator distribusi.

#### d. Pengujian *Flash Point*

*Flash point* (titik nyala) suatu minyak transformator perlu diketahui dengan pertimbangan keamanan. IEC menetapkan pengujian titik nyala minyak transformator dengan menggunakan metode Pensky Martin tertutup. Sedangkan ASTM menggunakan metode COC (Cleveland Open Closed). Pengujian dengan menggunakan metode COC menghasilkan nilai titik nyala lebih besar sekitar  $(5-10)^{\circ}\text{C}$  dari nilai pengujian dengan menggunakan metode Pensky Martin. Metode ini digunakan untuk mendeteksi kontaminasi minyak yang berupa bahan-bahan yang mudah menguap.

Karakteristik titik nyala minyak menentukan terjadinya penguapan dalam minyak. Jika titik nyala minyak rendah, mengidentifikasi terdapat kandungan yang bersifat *volatile combusite*, sehingga minyak akan mudah menguap dan menyebabkan volume minyak akan berkurang yang pada akhirnya minyak semakin kental (viskositasnya semakin tinggi).

Pada tabel 2 juga dapat dilihat hasil pengujian *flash point* dari beberapa sampel minyak transformator. Dari tabel 2 di atas terlihat bahwa nilai *flash point* dari beberapa sampel minyak transformator yaitu A, B, C, D, E, F dan G, berdasarkan umur pemakaian pada dasarnya masih sesuai dengan standar IEC 296, yaitu untuk minyak baru tidak boleh lebih kecil dari  $135^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu minyak bekas tidak boleh kurang dari  $130^{\circ}\text{C}$ . Namun ada beberapa sampel yaitu sampel dari H, I, dan J, hasil yang diperoleh sudah di bawah standar. Hal ini mengidentifikasi terdapat kandungan yang bersifat *volatile combusite*, sehingga minyak akan mudah menguap dan menyebabkan volume minyak akan berkurang, dan bila dihubungkan dengan hasil pengujian viskositas terlihat pada sampel tersebut nilai viskositasnya juga tinggi, artinya minyak sudah semakin kental.

Kemudian pada sampel K terlihat nilai *flash point*nya sudah sangat rendah yaitu  $85^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan Panduan pemeliharaan Transformator Tenaga PT. PLN (Persero) P3B. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya kandungan gas yang mudah menguap seperti Nitrogen dengan hydrogen yang banyak, methane, ethylene dan beberapa acetylene, yang menunjukkan salah satu penyebab transformator ini meledak.

## 2. Pengujian sifat-sifat kimia

Pengujian sifat-sifat kimia minyak transformator yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

### a. Pengujian Kadar Air

Yang sangat berpengaruh pada kekuatan isolasi cair adalah terdapatnya air dalam bentuk titik-titik air yang masuk ke dalam cairan isolasi. Kekuatan isolasi ini akan turun dengan tajam jika di dalam air tersebut terdapat kotoran-kotoran /serat-serat. Pada pengujian kadar air ini digunakan metode berdasarkan ASTM D 4928.

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat pada sampel A (minyak baru) nilai kadar airnya masih 0,00%, demikian juga sampel B dan C masih menunjukkan nilai kadar airnya sama dengan 0,00 %, karena sampel B dan C ini umur operasinya masih kurang lebih satu tahun. Hal ini berarti sesuai dengan standar ASTM D 1533 dan ASTM D 95 yang menetapkan kadar air untuk minyak baru harus sama dengan 0%. Kemudian dari Sampel D, E, F G dan J, kadar air yang terkandung di dalamnya sebesar 0,01%. Sedangkan sampel H, I dan K mengandung kadar air sebanyak 0,02%. Hal ini menunjukkan bahwa dari semua sampel untuk minyak yang telah terpakai masih sesuai dengan standar yang mensyaratkan kadar air maksimum pada minyak

transformator yang terpakai sebesar 0,05%. Jumlah air sebanyak 0,01% dalam minyak trafo akan menurunkan kekuatan dielektrik sampai 20% dari cairan isolasi bersih (baru).

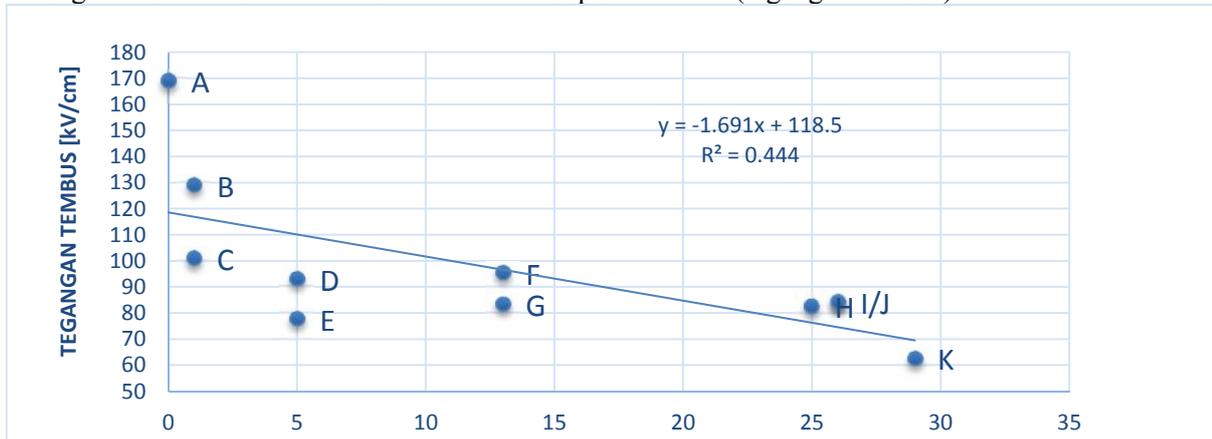
b. Pengujian kadar asam

Dengan menggunakan metode pengujian berdasarkan ASTM D 947, yaitu dengan metode pengujian standar untuk angka asam dengan titrasi indikator warna. Standar nilai kandungan asam menurut ASTM D 3487 adalah kurang dari 0,03 mgKOH/gr.

**Korelasi Hasil Pengujian**

1. Pengaruh umur pemakaian minyak transformator terhadap beberapa sifat minyak transformator.

a. Pengaruh Umur Pemakaian dan Beban terhadap sifat listrik (tegangan tembus)



Gambar 2. Grafik hubungan antara Umur pemakaian minyak trafo terhadap tegangan tembusnya

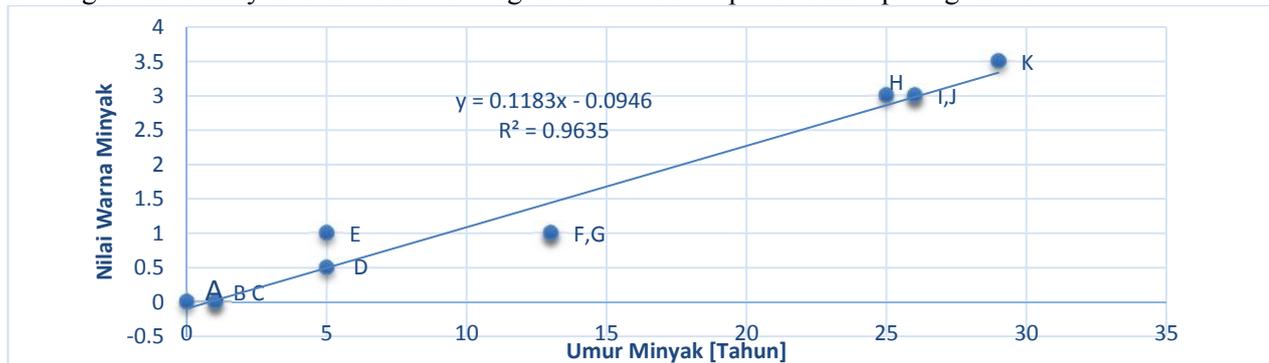
Berdasarkan gambar 2, hubungan antara tegangan tembus dan umur minyak trafo di atas, dapat diketahui bahwa tegangan tembus cenderung turun dengan semakin lama minyak beroperasi di dalam transformator. Besarnya tegangan tembus dipengaruhi oleh adanya ketidakmurnian seperti partikel padat, kandungan air, kandungan gas seperti dijelaskan sebelumnya. Semakin lama minyak transformator beroperasi, maka ketidakmurnian pada minyak akan semakin bertambah.

Pada sampel A (minyak baru) terlihat bahwa nilai tegangan tembusnya tidak mencapai 200 Kv/cm sesuai standar IEC 156. Hal ini terjadi kemungkinan akibat proses selama penyimpanan atau kekeliruan pada saat pengambilan sampel.

b. Pengaruh Umur Pemakaian Minyak terhadap Sifat-Sifat Fisik Minyak Transformator

**1) Pengaruh Umur Minyak Terhadap Warna Minyak Transformator**

Untuk mengetahui hubungan antara warna dengan umur operasi minyak transformator dibuat grafik hubungan umur minyak transformator dengan skala warna seperti terlihat pada gambar 3.



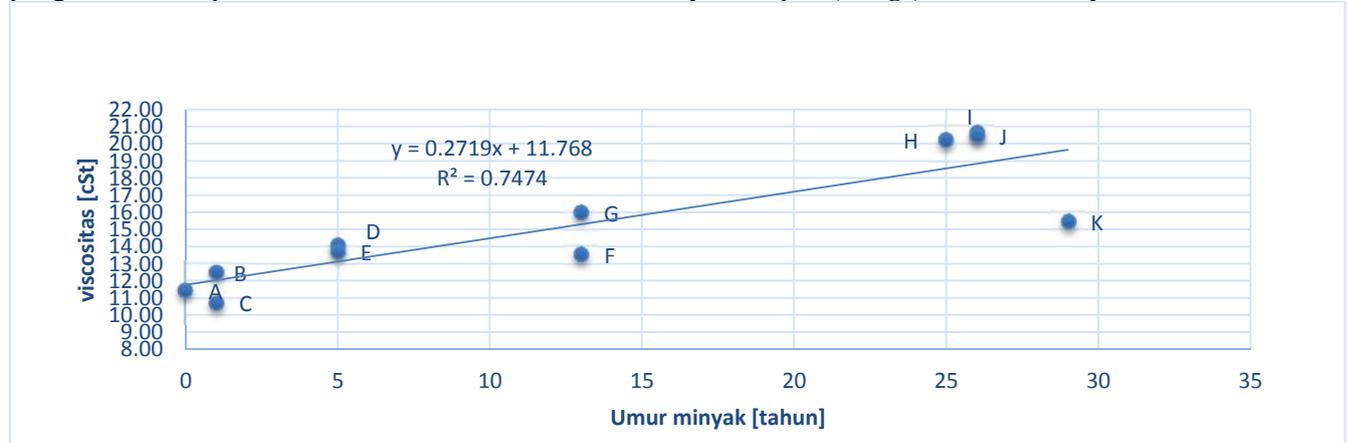
Gambar 3. Diagram hubungan antara umur pemakaian trafo terhadap kondisi perubahan warnanya

Berdasarkan Gambar 3, hubungan antara warna dengan umur minyak transformator di atas, dapat dibuat kesimpulan bahwa minyak akan berubah karena pengaruh umur operasi minyak transformator. Berdasarkan data di atas, semakin lama minyak beroperasi di dalam transformator, maka warna minyak cenderung berubah menjadi lebih gelap. Perubahan warna minyak terjadi akibat lunturnya warna vernish dari kumparan-kumparan yang terendam di dalam minyak transformator. Selain itu perubahan warna juga

disebabkan karena adanya perubahan temperatur yang terjadi di dalam minyak transformator. Perubahan temperatur tersebut dipengaruhi presentase beban yang ada dan stressing tegangan yang tinggi. Sedangkan korosi logam terjadi akibat adanya penambahan kadar asam di dalam minyak.

**2) Pengaruh Umur Pemakaian Minyak dan terhadap Viskositas Minyak Transformator.**

Berdasarkan gambar 4, hubungan antara viskositas dan umur pada suhu 30°C cenderung naik karena pengaruh umur operasi. Viskositas akan naik karena adanya endapan (*sludge*) di dalam minyak.

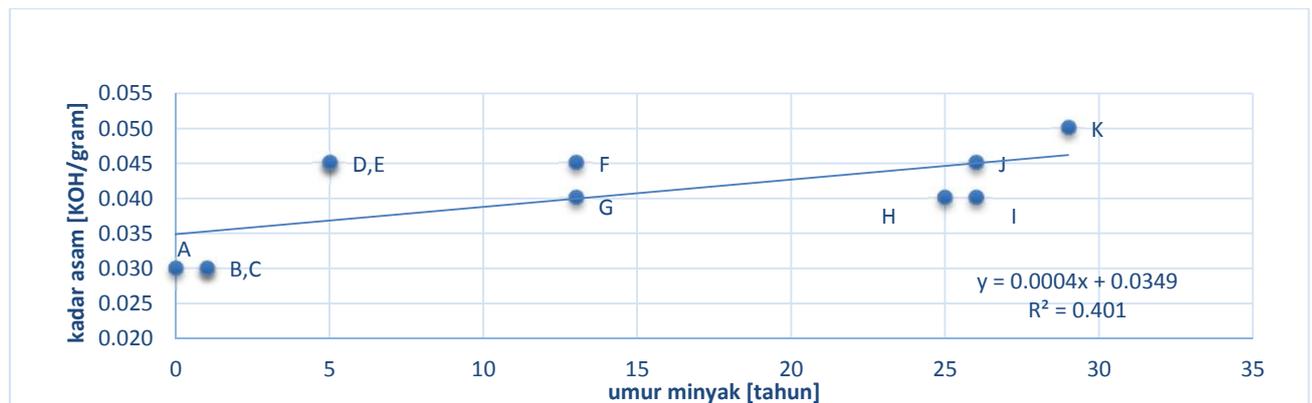


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Umur Pemakaian MinyakTrafoTerhadapViskositasnya

**c. Pengaruh Umur pemakaian dan Beban terhadap Sifat-Sifat Kimia Minyak Transformator.**

**1) Pengaruh Umur Minyak Terhadap Kadar asam**

Untuk mengetahui hubungan antara kadar asam dan umur operasi minyak transformator dibuat grafik seperti gambar 5.

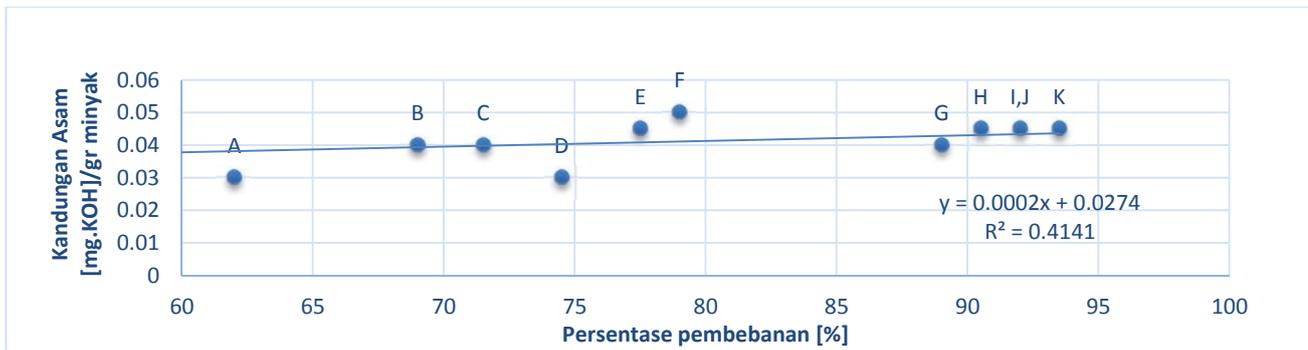


Gambar 5. Grafik hubungan antara umur pemakaian trafo terhadap kadar asam

Berdasarkan gambar 5 di atas, kandungan asam cenderung bertambah karena pengaruh umur. Pengaruh lingkungan dan usia pengoperasian minyak yang tidak sama, menyebabkan kandungan asamnya juga berbeda. Asam bisa timbul apabila terjadi pemanasan yang berlebih (*thermal stress*) pada minyak. Hal ini akan terus berlangsung seiring dengan usia pengoperasian minyak transformator. Hal inilah yang dapat menyebabkan kadar asam bertambah. Oleh sebab itu kandungan asam pada minyak bekas lebih besar jika dibandingkan dengan minyak baru. Bertambahnya kadar asam di dalam minyak menyebabkan karat dari bahan logam, yang selanjutnya menyebabkan kerusakan mekanis. Asam yang mudah menguap menyebabkan timbulnya ruang gas (*gas pocket*) di dalam alat, sedangkan ionisasi gas-gas ini dalam ruang tersebut menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan listrik seperti timbulnya busur api (*arcing*), loncatan api (*flash*), yang lambat laun akan besar.

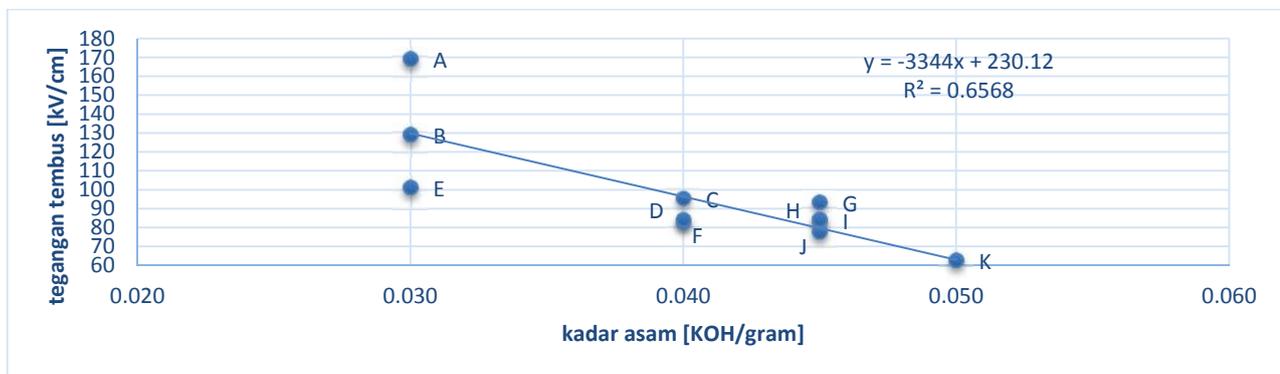
**2) Pengaruh beban terhadap kadar asam**

Berdasarkan gambar 6, dapat diketahui bahwa semakin besar pembebanan menyebabkan kandungan asam meningkat. Minyak yang telah terpakai dan mempunyai angka asam tinggi, mengindikasikan bahwa minyak tersebut telah terkontaminasi atau teroksidasi dengan material seperti vernish, cat atau zat-zat asing lainnya.



Gambar 6. Grafik hubungan antara presentase beban dengan kadar asam

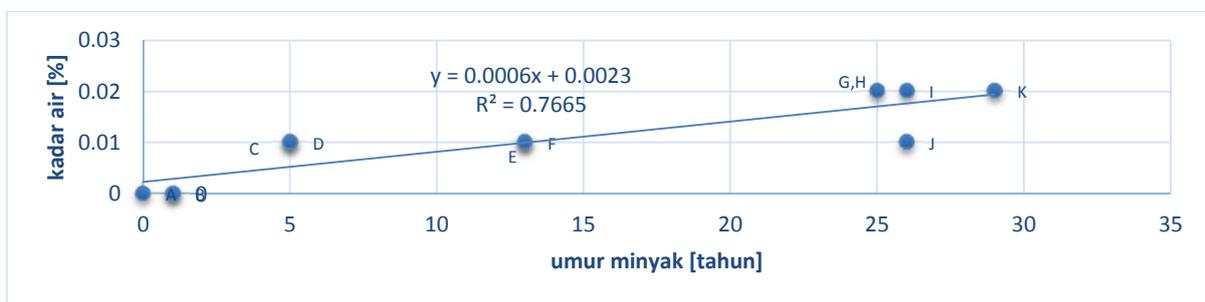
Akibat pembebanan yang berlebih pada suatu transformator menyebabkan kenaikan temperatur akibat pengaruh stress listrik dan terlepasnya oksigen sehingga menyebabkan tingkat kenaikan kandungan asam bertambah. Dengan meningkatnya kandungan asam dalam isolasi minyak maka kualitas dari minyak menjadi menurun. Hal ini dapat dilihat pula dari hasil pengujian tegangan tembus yaitu pada sampel D, E, dan F dan J, nilai tegangan tembusnya menurun, seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Tegangan Tembus dengan Kadar Asam Beberapa Sampel Minyak Transformator

### 3. Pengaruh Umur Minyak Terhadap Kadar Air

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini menjadi tidak stabil. Kanal kegagalan akan menjalar dari ujung tetesan yang memanjang sehingga menghasilkan kegagalan total.



Gambar 8. Grafik hubungan antara umur minyak trafo terhadap kandungan air.

Pada minyak bekas cenderung memiliki kadar uap air yang lebih besar daripada minyak baru. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada saat medan listrik yang tinggi, molekul uap air yang terlarut memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk suatu dipol. Jika jumlah molekul-molekul uap air banyak, maka akan terbentuk kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembus listrik.

Ketidakhayuan ini sangat berpengaruh dalam kegagalan isolasi sehingga pada minyak bekas akan lebih mudah terjadi *discharge* dibandingkan dengan minyak baru karena kekuatan isolasi minyak bekas sudah tidak seayus minyak baru. Hal ini dapat dilihat pada grafik hubungan antara umur pemakaian minyak trafo dengan kadar air, seperti terlihat pada gambar 8.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Kualitas isolasi minyak transformator dipengaruhi oleh umur pemakaian dari minyak transformator. Semakin lama minyak transformator digunakan maka kualitasnya akan semakin rendah. Dari hasil pengukuran tegangan tembus minyak transformator distribusi menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 3,885 kV/ Cm per tahun. Demikian juga sifat-sifat fisik dan kimia, semakin lama minyak transformator digunakan sifat-sifat ini akan mengalami perubahan, seperti warna akan semakin gelap, nilai viskositas mengalami kenaikan sebesar rata-rata 0,528515 Cst per tahun, *flash point* semakin rendah dimana rata-rata penurunannya sebesar 4,4827 °C per tahun, kadar asam semakin tinggi rata-rata sebesar 0,001379 per tahun, dan kadar air semakin bertambah.
2. Presentase beban pada transformator sangat mempengaruhi kualitas isolasi minyak transformator. Semakin tinggi presentase pembebanan pada transformator, maka karakteristik dielektriknya akan semakin rendah. Dari pengujian dan pengukuran pada penelitian ini, untuk pembebanan rata-rata 88,27% dari semua sampel minyak trafo diperoleh nilai tegangan tembus rata-rata 96,36 kV/Cm. Ini menunjukkan bahwa kondisi trafo masih dalam kondisi layak operasi.
3. Pemburukan kualitas minyak transformator merupakan fungsi temperatur dan waktu. Hal ini berarti semakin lama dan semakin tinggi presentase pembebanan kualitas isolasi minyak transformator akan semakin menurun.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. 1983, *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Beroural, Abderrahmane, 2009, *experimental Investigation on Insulating Liquids for Power Transformer: Mineral, Ester, and Silicone oils*, IEEE. 25 No. 6: 6 – 8.
- Birlasekaran, S. *Transformer Life Extention by Continous On-Line Conditioning*. 2003. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. 26 No.1: 271 – 275.
- Bird, tony. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Djojodiharjo, Harijono, DR. Ir, 1983, *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta
- Gallagher T.J. and Pearmain A. J., 1983, *High Voltage Measurement*, John Willey & sons, New York
- Kadir, Abdul, Prof. Dr. Ir., 1989, *Transformator*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Kind, Dieter, 1993, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*, Penerbit ITB, Bandung .
- Naidu M S, kamaraju V, 2006, *High Voltage Engineering*, Bharat Institute of engineering and technology mangalpally, andhra Pradesh
- Utina, Adiguna, 2005, *Analisis Ketidakhayuan Minyak Transformator Terhadap Kekuatan Isolasinya pada Berbagai Kondisi Penuaan*. Tesis. Makassar Program Pascasarjana UNHAS.
- S.D.Myers, J.J.Kelly, R.H.Parrish, 1981, *A Guide To Transformer maintenance*”, Transformer Maintenance Institute, Division of S.D.Myers, Inc., Akron, Ohio.
- Suwarno. 2005, *Diktat Kuliah Teknik Isolasi*”, Jurusan Teknik Elektro ITB, Bandung.
- Teguh Sulistyio, 2008, *Kajian pengaruh kontaminasi terhadap rugi-rugi dielektrik Dan breakdown minyak transformator*, Sigma Epsilon ISSN 0853-9103 Vol.12 No. 2

#### 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada PT. PLN Area Makassar Selatan yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan Sampel Minyak Transformator dan Kepada Kepala Laboratorim kimia PNUP yang telah member kesempatan untuk melakukan pengujian sampel minyak Transformator.