

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Minyak Isolasi

Isolator listrik dalam bentuk cair secara luas telah digunakan dalam berbagai komponen sistem tenaga listrik seperti transformator. Isolasi cair dapat berfungsi secara sendiri ataupun digunakan dengan kombinasi bersama isolasi material padat. Berbagai macam minyak baik natural maupun sintesis telah dipakai dalam industri tenaga listrik. Minyak mineral adalah minyak yang paling umum digunakan dan juga paling murah. Namun demikian, pemilihan tipe bahan dielektrik cair yang akan dipakai bergantung pada faktor fisik, kimia, sifat listrik (dielektrik) di samping juga sifat alami dari kinerja yang akan dibentuk. Sifat-sifat di atas meliputi beberapa hal, yaitu :

1. Faktor Fisik

a. Titik nyala (*Flash Point*)

Temperatur ini adalah temperature campuran antara uap dari minyak dan udara yang akan meledak (terbakar) bila didekati dengan bunga api kecil. Untuk mencegah kemungkinan timbulnya kebakaran dari peralatan dipilih minyak dengan titik nyala yang tinggi. Titik nyala dari minyak yang baru tidak boleh lebih kecil dari 135°C, sedangkan suhu minyak bekas tidak boleh kurang dari 130°C. Untuk mengetahui titik nyala minyak transformator dapat ditentukan dengan menggunakan alat close up tester.

b. Warna

Peningkatan jumlah minyak selama digunakan adalah sebagai indikasi dari makin buruknya kualitas minyak.

c. Titik tuang

Titik tuang adalah suhu terendah dimana minyak dapat mengalir pada saat didinginkan dan kondisi suhu tertentu.

d. Tegangan permukaan

Suatu nilai yang tinggi menandakan adanya kehadiran pengotor yang bersifat polar yang tidak diinginkan. Tegangan permukaan adalah tegangan antara permukaan minyak dengan air. Nilai tegangan permukaan dipengaruhi oleh banyaknya partikel-partikel kecil hasil oksidasi minyak dan kertas. Oksidasi akan menghasilkan air dalam minyak, meningkatkan nilai keasaman minyak dan pada kondisi tertentu akan menyebabkan pengendapan.

e. Viskositas (Kekentalan)

Viskositas atau biasa disebut kekentalan sangat penting pada isolasi cair. Hal ini dikarenakan viskositas berpengaruh pada kemurnian isolasi cair (banyaknya kontaminan partikel padat) dan pendinginan suatu peralatan listrik. Selain sebagai media isolasi biasanya isolasi cair juga berfungsi dalam proses pendinginan. Isolasi cair yang baik haruslah mempunyai viskositas yang rendah sehingga kemungkinan isolasi cair terkontaminasi akan kecil. Selain itu jika viskositas isolasi cair rendah, proses sirkulasi isolasi cair pada peralatan listrik akan berlangsung dengan baik sehingga akhirnya pendinginan inti dan belitan transformator dapat berlangsung dengan sempurna. Viskositas juga mempengaruhi perpindahan panas yang dapat berakibat pada kenaikan temperatur peralatan. Kekentalan yang tinggi berpengaruh pada kecepatan dari bagian-bagian yang bergerak terutama dalam iklim yang dingin.

2. Faktor Dielektrik

a. Tegangan Tembus (*Dielektrik Diala Oil*)

Tegangan tembus adalah tegangan dalam kV yang diperlukan untuk menembus lapisan minyak setebal 1 cm diantara dua buah elektroda dan dinyatakan dalam kV/cm dalam kondisi suhu kamar. Tegangan tembus yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel yang tidak dikehendaki.

b. Tahanan Jenis

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan adanya pengotor yang bersifat konduktif. Suatu cairan dapat digolongkan sebagai isolator cair bila tahanan jenisnya lebih besar dari 10^9 W-m.

c. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

DDF merupakan ukuran dari dielektrik losses minyak. Tingginya DDF menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali, koloid bermuatan dan sebagainya. DDF berhubungan langsung dengan tahanan jenis, sehingga tingginya nilai DDF secara langsung menunjukkan rendahnya tahanan jenis minyak.

3. Faktor Kimia

a. Keasaman

Keasaman (angka kenetralan) dalam minyak isolasi merupakan jumlah kalium hidroksida (KOH) yang dibutuhkan (dalam mg) untuk menetralkan 1 gram minyak sample. Semakin banyak KOH yang dibutuhkan, maka semakin asam minyak dan semakin besar pula angka kenetralannya. Proses oksidasi pada kertas dan minyak akan menghasilkan asam. Kandungan asam dalam minyak mempercepat penurunan kondisi minyak dan kertas, yaitu :

- 1) Asam akan membentuk lebih banyak asam dari minyak dan kertas.
- 2) Bereaksi dengan kertas menghasilkan air.
- 3) Asam bersifat korosif terhadap logam dan akan membentuk lebih banyak partikel logam pada belitan dan bagian bawah tangki minyak.

b. Sedimen

Zat pengotor yang terkandung dalam minyak trafo. Banyak material yang dapat mengkontaminasi minyak trafo, seperti karbon dan endapan lumpur (*sludge*).

c. Korosi Belerang

Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak.

d. Kandungan Air

Kandungan air yang rendah suatu minyak dibutuhkan untuk mendapatkan kekuatan dielektrik yang cukup untuk karakteristik rugi dielektrik yang rendah untuk memaksimalkan sistem isolasi dan meminimalisasikan korosi sistem.

e. Stabilitas Oksidasi

Peningkatan endapan lumpur minyak dan produk keasaman dari proses oksidasi selama penyimpanan, proses dan pemanfaatan yang lama sebaiknya dijaga seminimal mungkin agar meminimalisasi konduksi listrik dan korosi logam, memaksimalkan sistem isolasi dan tegangan tembus minyak, menjamin perpindahan panas yang memuaskan.

2.1.1. Macam-Macam Minyak Isolasi

Minyak isolasi pada trafo dapat dibagi secara garis besar menjadi dua kategori, yaitu :

1. Minyak Trafo Mineral

Minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak diesel dan turbin yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks.

2. Minyak Trafo Sintesis (Askarel)

Minyak jenis ini mempunyai sifat lebih menguntungkan antara lain tidak mudah terbakar dan tidak mudah teroksidasi. Namun beracun dan dapat melukai kulit. Berikut adalah beberapa contoh minyak merk dagang :

Tabel 2.1. Merk Minyak Dagang

Minyak Mineral	Minyak Sintesis
Diala C, B (USA)	Aroclor (USA)
Univolt (Esso)	Cloppen (Jerman)
Nynas (Swedia)	Phenoclor (Perancis)
Mictrans (Jepang)	Pyroclor (UK)
Sun Ohm-MU (Korea)	Fenclor (Itali)
Petromin (Dubai)	Pyralene (Perancis)
BP-Energol (UK)	Pyranol (USA)

2.2. Minyak Transformator

Minyak trafo merupakan bagian yang terpenting dalam trafo. Minyak Trafo berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Minyak trafo mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan mempunyai daya tegangan tembus tinggi. Pada power transformator, terutama yang berkapasitas besar, kumparan-kumparan dan inti besi transformator direndam dalam minyak-trafo.

2.2.1. Fungsi Minyak Transformator

Fungsi minyak trafo yaitu sebagai berikut :

1. Sebagai bahan isolasi (*insulator*) yaitu mengisolasi kumparan di dalam transformator supaya tidak terjadi lompatan bunga api (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi.
2. Sebagai pendingin yaitu dengan cara menyerap panas yang terjadi pada belitan, inti maupun pada bagian-bagian transformator yang lainnya yang mengakibatkan panas.

3. Sebagai penghantar panas dari bagian yang panas (*coil* dan inti) ke dinding bak.
4. Melindungi komponen-komponen di dalam transformator terhadap korosi dan oksidasi.

Pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar dapat menyebabkan suhu minyak akan berubah-ubah. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut menyebabkan udara luar masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Permukaan minyak transformator akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang dapat menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator. Untuk mencegah hal tersebut terjadi, maka pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat higroskopis (*silica gel*).

Minyak transformator hampir tidak berwarna yang tersusun dari senyawa hidrokarbon yang terdiri dari *paraffin*, *iso-paraffin*, *naphthalene* dan *aromatic*. Ketika diaplikasikan untuk jangka waktu tertentu, minyak transformator difungsikan untuk mengalirkan panas dan pada suhu 95°C akan mengakibatkan proses penuaan pada minyak serta mengakibatkan warna minyak akan menjadi lebih gelap karena adanya zat pengotor dan resin atau lumpur pada minyak. Beberapa pengotor mempunyai sifat korosif terhadap material isolasi padat dan bagian-bagian konduktor pada transformator. Lumpur yang menumpuk pada inti trafo, lilitan dan di dalam saluran minyak akan menghambat sirkulasi minyak sehingga proses aliran panas akan terhambat.

Sifat Dari Minyak Trafo

1. Besar jenis (*specific gravity*) = 0,85 – 0,9 gr/cm pada 13,5°C.

2. Viskositas (kekentalan) rendah untuk memudahkan sirkulasi dari bagian yang panas ke bagian yang dingin ; 100 – 110 *saybolt second* pada 40°C
3. Titik didih tidak kurang dari 135°C
4. Titik beku tidak lebih dari -45°C
5. Tekanan tembus minyak trafo tidak kurang dari 30 kV/2,5 mm atau 120 kV/cm
6. *Coefisien volume (cv)* = 0,069 % per 1°C
7. Titik api (*flash point*) = 180°C – 190°C
8. Titik nyala (*burning point*) = 205°C
9. Kelembaban terhadap uap air (*moisture*) = nihil

2.2.2. Persyaratan Minyak Transformator

Menurut SPLN 49-1 : 1982, ada beberapa persyaratan minyak trafo dapat dikatakan sebagai isolasi yang baik, yaitu sebagai berikut:

1. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Tegangan tembus minyak trafo perlu diukur, karena merupakan ukuran kesanggupan minyak untuk menahan tekanan elektrik (*electric stress*) tanpa kerusakan. Tegangan tembus ini adalah tegangan di mana kerusakan terjadi antara dua elektroda pada kondisi uji tertentu. Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel dalam minyak.

2. Kejernihan (*Appearance*)

Minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

3. Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan pada suhu 15,50°C dengan massa air pada volume dan suhu sama. Massa jenis minyak trafo harus lebih

rendah daripada massa jenis air. Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.

4. Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)

Viskositas merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir terus-menerus dan merata tanpa adanya gesekan dari gaya-gaya lain. Viskositas memegang peranan dalam pendinginan, dipergunakan untuk menentukan kelas minyak dan kurang dipengaruhi oleh kontaminasi atau kerusakan minyak. Viskositas yang rendah agar mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Semakin rendah viskositas maka semakin bagus pula konduktivitas termalnya sehingga semakin bagus kualitas dari minyak trafo tersebut. Pada IEC 296 viskositas minyak kelas 1 pada saat suhu 40°C adalah <16,5 cSt.

5. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala menunjukkan bahwa minyak trafo dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Semakin tinggi titik nyala maka semakin baik. Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap menjadi api yang dapat membahayakan. Sesuai IEC 296 flash point minyak trafo adalah di atas 163°C dan pour point adalah di bawah -30°C.

6. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

7. Angka Kenetralan (*Neutralization Number*)

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolasi dapat mendeteksi kontaminan minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau cacat atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan

(*additive*). Angka kenetralan dapat dipakai sebagai petunjuk umum untuk menentukan apabila minyak sudah harus diganti atau diolah (*purify / filtering / treatment*). Angka kenetralan (*Neutralization number*) maksimum adalah 0,5 mg KOH/g.

8. Korosi Belerang (*Corosive Sulphur*)

Pengujian ini menunjukkan kemungkinan korosi yang dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi, karena akan mengakibatkan kerusakan pada dinding tangki.

9. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

Kebocoran dielektrik berhubungan langsung dengan tahanan jenis, sehingga tingginya nilai kebocoran dielektrik secara langsung menunjukkan rendahnya tahanan jenis minyak. Harga yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan (*deterioration product*) misalnya air, hasil oksida, logam alkali, koloid bermuatan dan sebagainya.

10. Stabilitas atau Kemantapan Oksidasi (*Oxidation Stability*)

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah minyak tahan terhadap oksidasi. Proses oksidasi menyebabkan bertambahnya kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kotoran zat padat yang nantinya akan membentuk endapan. Asam menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator, sedangkan kotoran zat padat akan menyebabkan transfer panas menjadi terganggu. Minyak isolator diharapkan memiliki stabilitas oksidasi yang tinggi dan kemampuan kelarutan yang rendah sehingga meminimalisir presentase terjadinya oksidasi.

11. Kandungan Air (*Water Content*)

Adanya air dalam minyak isolasi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi dan juga adanya air akan memicu munculnya hot spoy yang nantinya

akan mempercepat kerusakan isolator kertas (*insulating paper*) seperti kertas dan kayu. Pemanasan yang berlebihan pada trafo akan menyebabkan isolasi kertas pada belitan akan membusuk dan menurunkan umur isolator. Membusuknya isolasi kertas akan menambah kandungan air. Pemecahan molekul serat kertas akan melepaskan sejumlah atom hidrogen dan oksigen bebas yang nantinya membentuk air. Naiknya suhu lebih lanjut akan menyebabkan air bergerak dari isolator kertas menuju minyak dan menurunkan tegangan tembus. Minyak isolator diharapkan memiliki kandungan air serendah mungkin.

12. Tahanan Jenis (*Resistivity*)

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan terjadinya kontaminasi yang bersifat konduktif (*conductive contaminants*).

13. Tegangan Permukaan (*Interfacial Tension*)

Adanya kontaminasi dengan zat yang terlarut (*soluble contamination*) atau hasil-hasil kerusakan minyak, umumnya menurunkan nilai tegangan permukaan penurunan tegangan permukaan juga menurunkan indikator yang peka bagi awal kerusakan minyak.

14. Kandungan Gas (*Gas Content*)

Tidak mengandung karbon. Adanya gas terlarut dan gas bebas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi transformator dalam operasi. Adanya gas seperti *hydrogen* (H_2), *metan* (CH_4), *etana*, *etilin* (C_2H_4) dan *asetilen* (C_2H_2) menunjukkan dekomposisi minyak isolasi pada kondisi operasi, sedangkan adanya *karbon dioksida* (CO_2) dan *karbon monoksida* (CO) menunjukkan kerusakan pada bahan isolasi.

Selain syarat di atas ada beberapa ketentuan lain seperti di bawah ini yang menjadi pertimbangan untuk minyak trafo :

1. Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak trafo harus kelas 1 dan 2 yaitu untuk minyak baru dan belum difilter adalah $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ (dapat dilihat pada tabel 2.3)
2. Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
3. Tidak merusak bahan isolasi padat
4. Warna minyak menurut kartu maksimal adalah 5 (dapat dilihat pada tabel 2.5)

Dari syarat-syarat tersebut untuk melihat kualitas minyak isolasi yang akan digunakan dilakukan beberapa pengujian antara lain :

1. Minyak baru harus mampu menahan tegangan 50 kV antara dua elektroda bola kuning dengan jarak 4 mm. sesudah pakai 3 bulan harus mampu menahan 40 kV dan minimum 30 kV untuk selama satu menit setiap tahun. Bila harganya kurang dari itu dan juga tidak berhasil diperbaiki sesudah uapnya diambil dengan cara yang sesuai, minyak tersebut sudah tidak dapat dipakai lagi dan perlu diganti.
2. Pengamatan biasa, dilihat dari warnanya, bau dan sebagainya tidak dapat menjamin kualitas meskipun ini merupakan informasi yang penting. Minyak semakin lama semakin hitam, karenanya perubahan yang cepat mungkin menunjukkan penurunan kualitas yang cepat. Bau yang tajam dan merangsang biasanya berhubungan dengan adanya asam organik yang tinggi atau gas yang larut.
3. Faktor daya yang rendah dan nilai tahanan yang tinggi menunjukkan bahwa minyak dalam keadaan baik. Meskipun demikian untuk minyak dengan faktor daya tinggi dan nilai tahanan rendah, perlu dilakukan pengujian-pengujian lebih lanjut untuk memastikan penyebab penurunan kualitas seperti kandungan air dan pengujian-pengujian dielektris.

4. Pengalaman menunjukkan bahwa bila minyak telah mencapai angka netralisasi 1,0 mg/KOH/g, harus dinyatakan tidak dapat dipakai.
5. Pengujian kepekatan (*interfasial*) merupakan petunjuk yang sangat baik mengenai keadaan minyak. Tetesan pada tegangan permukaan di bawah 0,014 Newton/mm menunjukkan bahwa pembentukan lumpur telah berbahaya dan minyak dianggap tidak dapat dipakai lagi. Nilai tegangan permukaan yang lebih besar dari 0,04 N/m memastikan tidak adanya benda asing bermuatan.

Untuk melihat kondisi suatu minyak trafo apakah kondisi tersebut memenuhi syarat atau tidak, tidak semua indikator tersebut di atas dapat diuji atau diperiksa. Beberapa pengujian yang biasa dilakukan oleh PT PLN untuk melihat kondisi minyak trafo antara lain :

1. Pengujian Visual, seperti :
 - a. Warna.
 - b. H₂O tampak.
 - c. Suspensi.
 - d. Endapan.
 - e. Kejernihan.
2. Pengujian Laboratorium, seperti :
 - a. Tegangan tembus (kV/cm).
 - b. H₂O test.
 - c. Kadar asam (mg/gr).
 - d. Viskositas.

2.2.3. Kerusakan Pada Minyak Transformator

Minyak trafo pada penggunaannya sebagai isolasi dan penghantar panas dapat terkontaminasi oleh beberapa jenis material yang berbeda-beda antara lain gas, uap air, zat-zat padat

atau kotoran dan proses penuaan dari minyak tersebut. Hal ini tentunya akan menyebabkan menurunnya daya isolasi minyak trafo. Untuk mengembalikan kondisi minyak trafo ke kondisi semula (dengan indikator yang memenuhi syarat) harus dilakukan treatment. Indikator utama penyebab turunnya daya isolasi minyak trafo adalah tegangan tembus. Tanpa melihat indikator penyebab turunnya daya isolasi minyak trafo yang selama ini dilakukan menggunakan sistem *Hot Vacuum Treatment*. Sesuai dengan standar IEC 422, treatment dapat dilakukan dengan cara *Cold Treatment*, *Hot Vacuum Treatment* dan *Sentrifugal separator* dengan melihat penyebab turunnya daya isolasi.

Minyak sebagai isolasi digunakan pada transformator dan peralatan pemutus tenaga atau saklar pemutus daya. Minyak ini berfungsi sebagai isolasi, penghantar panas dari konduktor pada transformator dan sebagai pemadam busur api pada peralatan pemutus daya. Selain itu minyak ini juga memungkinkan terlindunginya kumparan transformator dari pengembunan karena terhubung dengan udara luar serta berlaku sebagai pendingin dari transformator tersebut.

Pemakaian minyak sebagai isolasi dan penghantar panas pada transformator merupakan suatu hal yang sangat diperlukan. Akan tetapi keadaan minyak tersebut baik secara fisik, kimia dan dielektrik sangat bergantung pada kadar kandungan gas, uap air, zat-zat padat atau kotoran dan proses penuaan dari minyak tersebut. Bahkan minyak baru pun dapat menyerap gas dan uap air pada saat pengangkutan dan penyimpanan. Oleh karena itu sebelum digunakan harus difilter atau disaring kembali.

Pada penggunaannya sebagai isolasi dan penghantar panas, minyak trafo dapat terkontaminasi oleh beberapa jenis material yang berbeda-beda. Air diserap dari udara sebagai hasil dari pernapasan akan menempati semua sela dalam minyak setiap saat peralatan dimatikan serta didiamkan sampai menjadi dingin.

Pada trafo, uap air dapat masuk ke dalam minyak sebagai akibat adanya proses “pernapasan” trafo tersebut pada saat dioperasikan selama bertahun-tahun. Hal ini akan mengurangi daya isolasi minyak tersebut, sehingga hubungan singkat dapat terjadi dari kumparan atau sambungan kawat terminal ke tangki atau inti trafo. Namun bahaya yang terbesar adalah hubungan singkat antara kumparan kawat itu sendiri.

Berikut adalah bagan atau skema akibat dari pembebanan transformator :

Naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar → Suhu minyak berubah → Suhu minyak tinggi → Minyak akan memuai → Mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki → Suhu minyak turun → Minyak menyusut, udara luar masuk tangki → Akibat pernapasan → Permukaan minyak akan bersentuhan dengan udara luar → Udara luar lembab → **Menurunkan nilai tegangan tembus trafo** → Untuk mencegah → Ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan (tabung ini diisi dengan silica gel).

Uap air dapat juga masuk melalui sela-sela perapat bushing dan penutup atas trafo, ada dari bahan selulosa walaupun sudah mengalami proses pengeringan tapi masih mengandung air.

Pengendapan kotoran akan mengurangi proses pendinginan dalam segala hal. Pengendapan kotoran disekitar isolator sangat menghalangi pemancaran panas dari konduktor maupun bagian-bagian lainnya di mana pembuangan sangat diperlukan. Pengendapan kotoran dapat pula terjadi di antara saluran-saluran minyak pada permukaan kumparan kawat sehingga sirkulasi minyak pada permukaan kumparan kawat tersebut berkurang. Secara keseluruhan pengendapan kotoran-kotoran akan mengakibatkan kenaikan suhu minyak trafo dan dapat mengurangi daya isolasi minyak tersebut.

Gas-gas tertentu juga akan dapat terbentuk karena terjadinya panas yang berlebihan sewaktu terjadinya pemadaman bunga api. Kontaminasi dari material padat seperti karbon didapatkan dari proses bunga api bersamaan kontaminasi dengan serat kertas, serta oksidasi yang ditimbulkan oleh proses korosi.

Keberadaan material kontaminasi ini menyebabkan penurunan kemampuan daya isolasi yang cukup serius dari minyak trafo, jika dibiarkan akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada peralatan sebelum masa pakainya.

Dari uraian di atas terlihat bahwa penurunan kualitas minyak trafo disebabkan oleh beberapa pencemaran, antara lain :

1. Pencemaran fisik
 - a. Debu, benang, partikel logam, benda asing lain.
 - b. Tidak melarutnya pernis.
 - c. Air bebas dan yang melarut.
2. Pencemaran kimia
 - a. Oksida, akibat lumpur asam dan benda asing berkutub lain.
3. Pencemaran oleh gas-gas
 - a. Yang larut dan udara, seperti oksigen, nitrogen, karbon dioksida.
 - b. Timbul dari minyak *metan, etan, acetelene, ethylin* dan sebagainya.

Bila telah ada indikator yang menunjukkan bahwa minyak tersebut sudah tidak memenuhi syarat maka perlu dilakukan *treatment* (pengendalian kondisi minyak ke kondisi semula). Indikator utama yang menunjukkan minyak tersebut tidak memenuhi syarat sebagai isolasi adalah tegangan tembus, di mana tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi air atau gas, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak. Untuk mengendalikan kondisi minyak trafo ke kondisi semula (tegangan tembusnya memenuhi syarat) berarti harus dilakukan *treatment*.

Keadaan minyak dan penanggulangan atas keadaan minyak tersebut dapat dijelaskan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.2. Keadaan Minyak dan Penanggulangannya

Keadaan Minyak	Penanggulangan
Minyak yang baik untuk dipakai	Tidak perlu dilakukan apa-apa.
Minyak dengan derajat pencemaran sedang	Minyak dapat dibersihkan sehingga dapat digunakan kembali dengan proses filtrasi sentrifugal sederhana atau dehidrasi ruang hampa, ini disebut rekondisi (<i>reconditioning</i>).
Minyak dengan pencemaran tinggi	Untuk membuat keadaan minyak kembali ke keadaan semula perlu dilakukan pekerjaan yang kompleks. Proses ini disebut reklamasi atau regenerasi.

2.2.4. Pemeriksaan Minyak Transformator

1. Pemeriksaan Level Minyak Trafo

Pemeriksaan level minyak perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui apakah minyak masih dalam batas yang diijinkan, jika ditemui keadaan yang abnormal, maka perlu diteliti penyebabnya untuk mengetahui adanya kebocoran pada tangki.

Periksa *packing/gasket*, *valve* dan bagian yang dilas jika dijumpai kebocoran segera hubungi pabrik pembuat.

2. Pemeriksaan Tegangan Tembus Minyak Trafo

Minyak transformator berguna untuk mengisolasi tegangan antara *winding* dan *core*, *body* dan antara bagian-bagian yang

bertegangan lainnya. Minyak juga berfungsi juga memindahkan panas yang dibangkitkan oleh core dan winding ke peralatan pendingin. Oleh sebab itu harus memenuhi persyaratan karakteristik seperti di bawah ini :

- a. Harus mempunyai kekuatan isolasi (*dielectric strength*)
- b. Harus mempunyai efek pendingin yang baik atau kekentalan rendah.
- c. Harus sudah dimurnikan dan bebas dari material yang dapat menimbulkan karat atau kerusakan material isolasi lainnya.
- d. Harus bebas dari material seperti uap air, fiber dll.
- e. Tidak mudah menguap.

Minyak isolasi dalam transformator lambat-laun akan mengalami pencemaran sesuai dengan umur pakainya. Penyebabnya adalah minyak akan beroksidasi bila berhubungan langsung dengan udara dan prosesnya akan dipercepat dengan kenaikan temperatur, sedangkan kontak dengan metal didalam tangki akan menimbulkan percampuran dengan logam tembaga, besi, kertas dan larutan varnis. Selain hal tersebut diatas, dalam minyak terjadi reaksi kimia dekomposisi dan polymerisasi yang akan menimbulkan endapan dalam minyak.

Endapan ini tidak berpengaruh langsung terhadap *dielectric strength* tetapi endapan ini mengumpul pada *winding* dan akan mengakibatkan penyumbatan pada celah pendingin (*oil duct*), radiator dan dinding tangki sehingga mempengaruhi temperature kerja yang merupakan faktor penentu dari umur material isolasi.

Karena pencemaran minyak terutama disebabkan oleh proses oksidasi, maka tindakan pencegahannya adalah :

1. Menghindarkan hubungan langsung minyak dengan udara. Untuk itu dibuat konservator yang berfungsi mencegah kontak langsung antara minyak yang panas dalam tangki dengan udara luar.
2. Uap air juga mencemari minyak transformator, oleh sebab itu dipasang dehydrating breather yang diisi *silica gel*.

3. Tangki yang tertutup rapat (*Hermatically Sealed*) dan diisi dengan nitrogen.
4. Tangki yang tertutup rapat dan diisi minyak sampai penuh (*totally filled*).

Karena pentingnya minyak transformator, maka perlu dilakukan pemeriksaan secara berkala, menurut IEC-156 untuk :

1. Minyak baru sebelum diolah dan sebelum difilter ≥ 30 kV/ 2.5 mm
2. Minyak yang telah diolah (setelah difilter) ≥ 50 kV/ 2.5 mm
3. Minyak yang telah digunakan ≥ 30 kV/ 2.5 mm

Pemeriksaan tegangan tembus minyak dianjurkan 3 tahun pertama setelah transformator dioperasikan dan tiap tahun untuk tahun-tahun berikutnya. Jika hasil pemeriksaan laboratorium minyak tersebut dibawah standart maka perlu dimurnikan kembali atau diganti dengan minyak yang baru.

Tabel 2.3. Spesifikasi Minyak Isolasi Baru Sesuai SPLN 49-1 : 1982

Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Kelas		Metode Uji	Tempat Uji
		Kelas 1	Kelas 2		
Kejernihan	-	Jernih		IEC 296	Di tempat / Laboratorium
Massa Jenis (20°C)	g/cm ³	$\leq 0,895$		IEC 296	Laboratorium
Viskositas 20°C Kinematik -15°C -30°C	cSt cSt cSt	≤ 40 ≤ 800 -	≤ 25 - ≤ 1800	IEC 296	Laboratorium
Titik Nyala	°C	≥ 140	≥ 130	IEC 296 A	Laboratorium
Titik Tuang	°C	≤ -30	≥ -40	IEC 296	Laboratorium
Angka Kenetralan	Mg KOH/g	$\leq 0,03$		IEC 296	Laboratorium
Korosif Belerang	-	Tidak korosif	Tidak korosif	IEC 296	Laboratorium

Tegangan Tembus a. Sebelum diolah (baru dan belum difilter) b. Sesudah diolah (setelah difilter) c. Yang telah digunakan	kV/2,5 mm	≥ 30 ≥ 50 ≥ 30		IEC 296 & IEC 156	Laboratorium
Faktor Kebocoran Dielektrik	-	$\leq 0,05$		IEC 250	Laboratorium
Ketahanan Oksidasi a. Angka kenetralan b. Kotoran	mg KOH/g %	$\leq 0,40$ $\leq 0,10$		IEC 474 & IEC 74	Laboratorium

Tabel 2.4. Spesifikasi Minyak Isolasi Pakai Sesuai SPLN 49-1 : 1982

Sifat Minyak Isolasi	Tegangan peralatan	Batas yang diperbolehkan	Metode Uji	Tempat Uji
Tegangan Tembus	≥ 170 kV 70 - 170 kV ≤ 70 kV	≥ 50 kV/2,5 mm ≥ 40 kV/2,5 mm	IEC 156	Di tempat / Laboratorium
Kandungan Air	≥ 170 kV ≤ 170 kV	≤ 20 mg/l ≤ 30 mg/l	ISO R 760	Laboratorium
Factor Kebocoran	Semua tegangan	$\leq 0,2 - 2,0$	IEC 247 IEC 250 (90°C)	Laboratorium
Tahanan Jenis	Semua tegangan	1,0 GΩ.m	IEC 93 dan IEC 247	Laboratorium
Angka Kenetralan	Semua tegangan	$\leq 0,5$ mg KOH/gr	IEC 296	Laboratorium
Sedimen		Tidak terukur	IEC 296	Laboratorium

Titik Nyala		Penurunan maksimum 15°C	IEC 296	Laboratorium
Tegangan Permukaan		$\geq 15 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$	IEC 296	Laboratorium
Kandungan Gas	$\geq 70 \text{ kV}$	*)	Sedang digarap oleh IEC	Laboratorium

Tabel 2.5. Beberapa Petunjuk Untuk Melihat Minyak Trafo

Warna dan Kelompok	Angka Asam	Kekuatan Kertas (IFT) (dynes/cm)	Akibat pada Transformator
Bagus Kuning pucat # 0.5	0,03 0,1	45 30	Menggambarkan bahwa pendinginan bagus isolasi bagus
Contoh A Kuning muda # 10	0,05 0,1	27 29	Terjadi endapan (sludge) yang membaaur di minyak yang menyebabkan IFT turun.
Umum Kuning terang # 1,5 – 2,0	0,11 0,15	24 27	Terjadi endapan tipis pada lilitan. Hal ini akan menjadi penyebab gangguan. Agar dihindari kandungan sludge yang menebal.
Jelek Kuning sawo # 2,5	0,16 0,4	18 24	Hampir semua trafo pada keadaan ini terdapat endapan pada lilitan dan inti.
Amat jelek Kuning sawo # 2,5	0,41 0,65	14 18	Endapan akan beroksidasi kemudian mengeras dan terjadi juga di isolasi (kertas) mudah terjadi

			kerusakan.
Sangat jelek Coklat kehitaman # 5,0 - 7,0	0,66 1,5	9 14	Endapan menyumbat sirip-sirip pendingin yang kenaikan temperatur sampai 20°C.
Minyak kelas 7 (Crude oil) hitam # 7,0 - 8,0	1,5 dan lebih	6 9	Diperlukan suatu cara untuk menghilangkan endapan / sludge (yang lebih bagus dari “ <i>sludge pure</i> ”. Pada kondisi ini transformator harus di overhaul (tidak ada gunanya hanya dengan mengganti minyak trafo.

2.2.5. Penurunan Kualitas Minyak Isolasi Trafo

Untuk mengetahui apakah suatu bahan isolasi seperti minyak isolasi telah mengalami pemburukan, maka perlu dilakukan pengujian-pengujian yang sifatnya tidak merusak. Kegagalan minyak isolasi sebagai bahan dielektrik pada peralatan tegangan tinggi pada umumnya disebabkan oleh pemburukan minyak isolasi tersebut.

Faktor-faktor yang menyebabkan memburuknya minyak isolasi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Panas

Pemanasan yang berlangsung cukup lama dan terus-menerus pada minyak isolasi akan merubah struktur kimia dari minyak isolasi, sehingga merubah sifat-sifat dasarnya sebagai bahan isolasi.

2. Kontak dengan udara

Kontak dengan udara akan menyebabkan minyak isolasi beroksidasi dengan udara yang menurunkan kekuatan dielektriknya.

3. Partikel-partikel mekanis yang merusak minyak isolasi

Partikel-partikel yang merusak minyak isolasi seperti perkaratan (korosi) dan partikel-partikel yang terjadi pada bagian-bagian peralatan yang diisolir sehingga terkontaminasi dengan minyak isolasi tersebut.

4. Korona

Percikan bunga api korona menyebabkan kadar karbon pada minyak isolasi meningkat dan menyebabkan gelembung-gelembung gas nitrogen dan oksigen pada minyak isolasi tersebut.

5. Faktor alamiah

Umur yang cukup lama merupakan salah satu faktor pemburukan pada minyak isolasi yang menurunkan kualitas dari minyak isolasi tersebut.