

Sistem & Kontrol Pabrik

Pusat Keahlian

Kelistrikan



- PROGRAM PEMELIHARAAN KELISTRIKAN (EMP) –
JOB AID
J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{ kVA}$)

Riwayat Perubahan

Perubahan-perubahan sebagai berikut telah dibuat atas dokumen ini.

Versi	Perubahan	Tanggal	Penyusun	Status
A	Persiapan awal untuk pertemuan F2F	30.8.2017	Shermco	Draft
B	Revisi grup kecil pertama	11.09.2017	AL, DV, BJ	Draft
C	Versi <i>cleaned up</i> kembali ke Shermco	15.09.2017	AL	Draft
D	Pertemuan F2F di Houston	01.11.2017	AL	Draft
E	Tinjauan grup besar – tabel tingkat kekritisan MO diperbarui	22.01.2018	RvG, AL	Draft

Daftar Isi

1. Lingkup.....	3
2. Definisi	3
3. Dokumen-dokumen Referensi	6
4. Alat-alat dan bahan-bahan yang diperlukan	7
5. Urutan Pengujian	8
6. Nilai-nilai Pengujian.....	18
7. Lembar Pengujian.....	27

Lingkup

Dokumen ini berlaku untuk trafo yang berisi minyak, terlepas dari jenis dan modelnya. Karena ini adalah *job aid* yang bersifat umum, maka perlu untuk melihat juga panduan pemeliharaan dan operasi (petunjuk pengujian dan pengoperasian OEM) dari trafo tertentu dan modelnya untuk menggunakannya sesuai dengan persyaratan-persyaratan sebagaimana diuraikan dalam panduan tersebut.

Untuk klarifikasi: Trafo-trafo sebagai berikut bukan merupakan bagian dari lingkup ini (lihat *job aid* terpisah):

- Trafo, Minyak ($> 500\text{ kVA}$) (lihat Job Aid J4)
- Trafo, Kering ($> 500\text{ kVA}$) (lihat Job Aid J6)
- Trafo, Kering ($\geq 5000\text{kVA}$) (lihat Job Aid J7)

Definisi

Trafo, Minyak:

Trafo yang menggunakan minyak untuk mengisolasi, menekan pelepasan dan busur korona, dan berfungsi sebagai pendingin untuk trafo. Minyak trafo kebanyakan berbahan dasar minyak mineral, namun sebagian lain menggunakan formulasi alternatif dengan sifat teknik atau lingkungan yang lebih baik, seperti Silikon atau Envirottemp FR3, semakin populer.

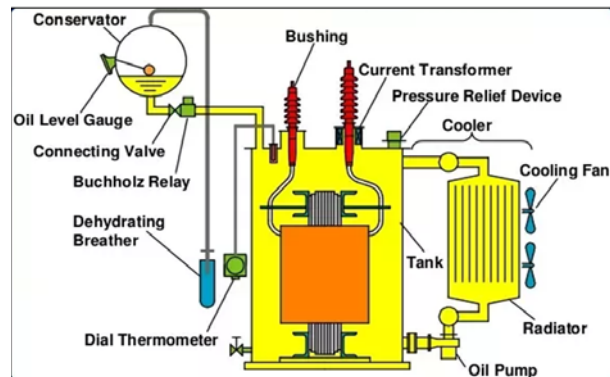
Trafo, Minyak dengan (bernafas dengan konservator):

Trafo yang memanfaatkan cairan isolasi untuk mengisolasi, menekan pelepasan dan busur korona, dan berfungsi sebagai pendingin trafo dan juga memiliki konservator untuk cairannya. Konservator adalah tangki silinder yang dipasang pada struktur penopangnya di atas tangki utama trafo. Fungsi utama tangki konservator trafo adalah sebagai penampung cadangan cairan isolasi trafo dan menyediakan ruang yang memadai saat cairan di dalam trafo memuai.

Oil Filled Transformer



Oil Transformer with Conservator

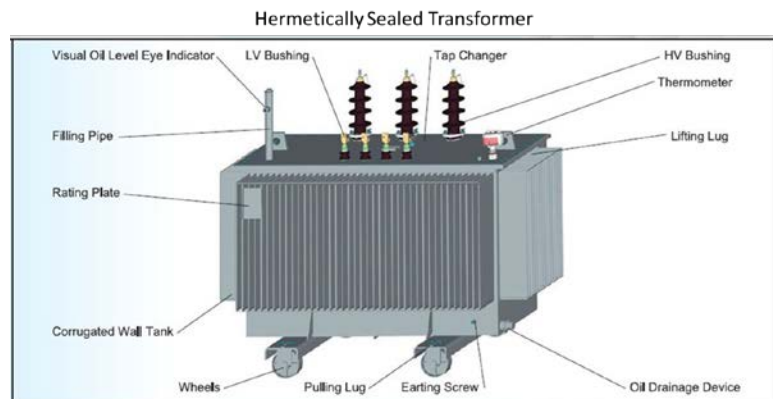


Trafo, Kedap Udara (*Hermetically Sealed*)

Trafo kedap udara adalah desain trafo yang memiliki cairan isolasi dielektrik dalam tangki trafo yang sepenuhnya tertutup dan tidak ada kontak dengan atmosfer. Jenis trafo ini digunakan dalam aplikasi di mana trafo harus dipasang dalam kondisi iklim yang keras (asap, polusi, lingkungan berdebu, dll.) atau pengguna lebih memilih trafo dengan sedikit pemeliharaan.

Ada tiga jenis konstruksi trafo kedap udara:

- Bantalan gas digunakan sebagai kompensasi untuk perubahan volume cairan akibat panas. Biasanya gas yang digunakan adalah nitrogen. Gas ini dipisahkan secara termal dari cairan dielektrik.
- Trafo diisi penuh dengan minyak dan dindingnya yang bergelombang digunakan sebagai kompensasi perubahan volume yang disebabkan oleh perbedaan suhu.
- Trafo memiliki kantong karet yang dipasang di tangki konservatori yang berfungsi untuk menampung perubahan volume dan pemisahan minyak dari atmosfer.



Trafo Pad Mount

Trafo ini memiliki *bushing* tertutup pada sisi primer dan sekunder. Trafo ini tidak memerlukan pagar khusus atau pelindung di sekelilingnya.



Trafo Kelas Utilitas / Trafo Gardu

Dibandingkan dengan trafo pad mounted, trafo ini memiliki *bushing* primer dan/atau sekunder yang terbuka, terpapar. Trafo ini memerlukan pagar atau pelindung khusus untuk alasan keamanan.

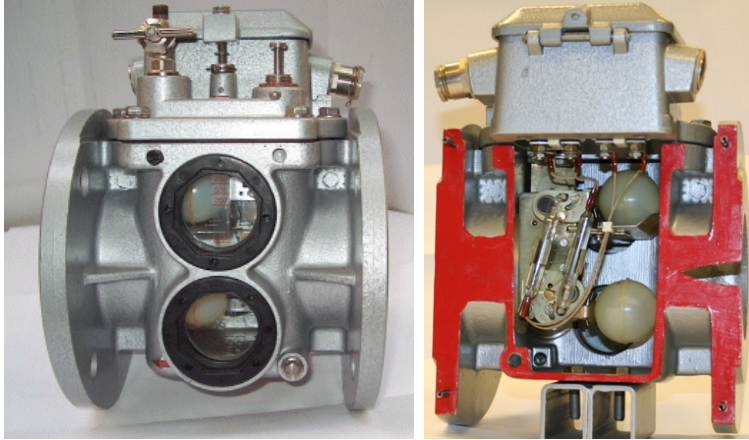


Bushing:

Bushing adalah perangkat yang diisolasi yang memungkinkan konduktor listrik melewati dengan aman melalui penghalang yang dibumikan yang berfungsi sebagai konduktor (*grounded conducting barrier*) seperti yang ada pada trafo atau pemutus sirkit. Tergantung pada desainnya, *bushing* dapat terbuat dari bahan porselen atau keramik dan dapat diisi dengan cairan yang diisolasi.

Relai Buchholz:

Relai Buchholz adalah alat pengaman yang dipasang pada beberapa trafo dan reaktor yang berisi minyak, dilengkapi dengan penampung minyak overhead eksternal yang disebut "konservator". Relai Buchholz digunakan sebagai alat proteksi yang peka terhadap efek kegagalan dielektrik di dalam peralatan.



Perangkat Deteksi Gas:

Perangkat deteksi gas dipasang pada trafo kedap udara yang serupa dengan relai Buchholz pada trafo dengan konservator. Ada berbagai jenis di pasaran, kadang-kadang disebut DGPT (D = Deteksi, G = Gas; P = *Pressure* /Tekanan; T = Temperatur) atau DMCR (D = Deteksi, M = Measurement/Pengukuran; C = *Control*; R = Relai). Perangkat ini kadang-kadang dilengkapi fitur deteksi gas, pengukuran tekanan, dan pengukuran suhu.



Tap Changer:

Tap changer adalah mekanisme trafo yang memungkinkan rasio variabel bukaan dipilih dalam langkah-langkah terpisah. Trafo yang dilengkapi dengan mekanisme ini memiliki rasio variabel bukaan ini dengan terhubung ke sejumlah titik akses yang dikenal sebagai keran (*tap*) yang terletak di sepanjang kumparan primer atau sekunder. *Tap changer* biasanya ditempatkan pada kumparan trafo tegangan tinggi (arus rendah) agar mudah untuk diakses dan untuk meminimalkan muatan arus selama pengoperasian.

On-Load Tap Changer (OLTC):

Untuk jenis *On-Load Tap Changer* (OLTC), rasio bukaan dapat disesuaikan saat trafo diberi aliran listrik. Pemilihan keran pada jenis OLTC sering dilakukan melalui sistem otomatis.

No-Load Tap Changer (NLTC):

Untuk jenis *No-Load Tap Changer* (NLTC), trafo harus dimatikan aliran listriknya sebelum melakukan penyesuaian rasio bukaan. Pemilihan keran pada jenis NLTC biasanya dilakukan dengan sistem manual.

Pengukur Suhu Trafo:

Pengukur suhu ini berfungsi untuk mengukur suhu minyak teratas atau suhu kumparan. Alat ukur ini juga biasanya juga mencakup indikator suhu tinggi.



Pengukur Tekanan Trafo:

Pengukur tekanan ini berfungsi untuk mengukur tekanan selimut nitrogen di atas minyak. Alat ukur ini biasanya menunjukkan tekanan negatif dan positif. Tekanan dapat bervariasi dari sedikit negatif hingga sedikit positif karena suhu ambien dan kondisi pengoperasian. Untuk trafo tertutup, tekanan harus selalu dijaga sedikit positif.



Pengukur Level Minyak Trafo:

Pengukur ini berfungsi untuk mengukur level minyak. Biasanya ada tanda pada pengukur yang menunjukkan level 25°C , yang merupakan level minyak yang tepat untuk trafo pada suhu tersebut.

Mempertahankan level minyak yang tepat sangat penting karena jika level minyak turun di bawah level saluran masuk radiator, aliran sirkulasi alami melalui radiator akan berhenti, sehingga tidak ada pendinginan dan trafo akan menjadi terlalu panas.



Pengurang Kelembaban

Perangkat ini dipasang di lubang masuk saluran udara pada trafo dengan fitur pernapasan. Tujuannya adalah untuk mencegah udara lembab masuk ke dalam trafo. Program penggantian harus diatur sesuai dengan OEM dan kondisi ambien.



Dokumen-dokumen Referensi

- Standar Pelaksanaan Kerja Unggul Terpercaya Cargill untuk Termografi (A3)
- Standar Pelaksanaan Kerja Unggul Terpercaya Cargill untuk Pengujian Resistensi Isolasi (A8)

- Standar Pelaksanaan Kerja Unggul Terpercaya Cargill untuk Pengujian Faktor Daya (A11)
- Standar Pelaksanaan Kerja Unggul Terpercaya Cargill untuk Pengujian Resistensi Kumparan (A12)

Alat-alat dan bahan-bahan yang diperlukan

Persyaratan Umum:

- Perlu untuk menyediakan petunjuk pengujian dan pengoperasian OEM.
- Perlu dicatat bahwa banyak dari pengujian kelistrikan yang diuraikan dalam *job aid* ini memerlukan peralatan khusus dan dilaksanakan oleh para pekerja yang telah mendapatkan pelatihan khusus untuk menggunakan peralatan tersebut.
- Saat melakukan pengujian ini di lapangan, tindakan pencegahan untuk keselamatan yang tepat harus diterapkan sebelum melaksanakan pengujian.
 - APD: APD busur api listrik dan proteksi sengatan listrik wajib dikenakan ketika terpapar suatu sirkuit beraliran listrik saat melaksanakan pengujian.
 - Analisis Bahaya Pra-Kerja (PJHA): Saat melaksanakan kegiatan pengujian atau pemeriksaan, isilah formulir PJHA dan mintalah personil yang bersangkutan menandatangani untuk kegiatan ini.
 - *Lock-Out/Tag Out* (LOTO): Sebagian besar uji terima atau pemeliharaan kelistrikan mempersyaratkan bahwa trafo yang diuji ada dalam keadaan diisolasi dari semua sirkuit beraliran listrik. Oleh karena itu, proses LOTO yang tepat harus ada di tempat untuk mendukung proses pengujian tersebut.
- Kamera digital untuk mengambil gambar semua kekurangan yang ditemukan.

Pemeriksaan secara Visual (A0) dan Pemeriksaan Fisik (A1)

- Suku cadang seperlunya (mis. *insert dehumidifier* baru, pengikat (*fastener*) untuk penutup, dll.)

Analisis Sampel Minyak (A2)

- Wadah untuk menguras minyak selama pelaksanaan pengambilan sampel.
- Kelengkapan dan alat penyambung untuk dihubungkan ke port sampel minyak.
- Kit sampel minyak (tabung fleksibel untuk mengambil sampel, wadah yang dapat ditutup rapat untuk sampel minyak, jarum (*syringe*) untuk sampel minyak, dll.).
- Alat pengukur suhu dan kelembaban.
- Lap kering dan bersih untuk digunakan jika ada ceceran minyak.

Pemeriksaan dengan Infra Merah (A3)

- Peralatan sebagaimana didefinisikan dalam “Standar Pelaksanaan Kerja Terpercaya Cargill untuk Termografi.”

Survei Emisi Ultrasonik (A4)

- Peralatan sebagaimana ditentukan dalam “Standar Pelaksanaan Kerja Terpercaya Cargill untuk Emisi Ultrasonik.”

Pengujian Resistensi Isolasi (A8)

- Peralatan sebagaimana ditentukan dalam “Standar Pelaksanaan Kerja Terpercaya Cargill untuk Pengujian Resistensi Isolasi” dengan kemampuan menyediakan tegangan uji setidaknya 5000 VDC.

Pengujian Faktor Daya / Faktor Disipasi (A11)

- Peralatan sebagaimana ditentukan dalam “Standar Pelaksanaan Kerja Terpercaya Cargill untuk Pengujian Faktor Daya (A11)”

Pengujian Resistensi Kumparan (A12)

- Peralatan sebagaimana ditentukan dalam “Standar Pelaksanaan Kerja Terpercaya Cargill untuk Pengujian Resistensi Kumparan.”

Urutan Pengujian

Untuk trafo, semua pengujian AC (terutama pengujian eksitasi) harus dilakukan sebelum pengujian DC. Pengujian DC dapat berdampak didapatkannya hasil-hasil yang tidak tepat terhadap pengujian lain jika dilakukan terlebih dahulu. Hal ini karena inti trafo akan termagnetisasi selama pengujian DC. Jika pengujian tidak berjalan, inti harus didemagnetisasi. Demagnetisasi inti dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara sebagai berikut: 1) mengalirkan listrik pada trafo akan mendemagnetisasi inti, atau 2) beberapa peralatan uji doble yang lebih baru dilengkapi fitur untuk mendemagnetisasi inti. Selain itu, arde perangkat uji harus terhubung ke arde trafo yang sedang diuji.

Pemeriksaan secara Visual (A0) (selama pengoperasian normal)

Pemeriksaan ini hanya boleh dilaksanakan oleh seseorang yang memenuhi kualifikasi / terampil seperti tehniisi listrik atau oleh seseorang yang telah mendapatkan pelatihan khusus untuk melaksanakan pemeriksaan ini. Pemeriksaan ini dilaksanakan dalam keadaan di mana trafo diberi aliran listrik dan dalam kondisi pengoperasian normal.

Pemeriksaan akan mencakup, tetapi tidak terbatas pada:

- Pemeliharaan ruangan: Lakukan pemeriksaan untuk memastikan apakah ventilasi dan sirkulasi udara berfungsi dengan baik di sekitar trafo.
- Penjangkaran dan pembumian yang tepat, bila dapat diakses: Evaluasi kondisi dan sambungan ke kabel pembumian dari kasing trafo ke koneksi sistem pembumian. Kabel pembumian tidak boleh ada yang terputus (*continuous*) dan bebas dari cacat. Sambungan harus kencang dan tidak menunjukkan adanya perubahan warna.
- Kebocoran dan tumpahan minyak, bila dapat diakses: Periksa apakah ada kebocoran minyak. Di sekitar *bushing* dan penetrasi yang terkait dengan trafo, rembesan minyak

dari dalam trafo biasanya muncul dalam rupa perubahan warna pada permukaan yang dicat di sekitar bushing atau penetrasi. Tumpahan minyak harus dibersihkan untuk memungkinkan deteksi tumpahan minyak di masa yang akan datang. Jika area tersebut tidak dapat dibersihkan, ambil gambar untuk dapat membandingkan situasinya dengan temuan di masa mendatang.

- Kipas pendingin dapat berfungsi dengan baik, jika ada: Kipas pendingin trafo biasanya dikontrol dengan termostat sehingga dapat menyala dan mati berdasarkan pengaturan suhu. Jika kipas tidak berfungsi, maka harus dicatat dengan menyebutkan pengaturan termostat yang ada saat ditemukan (*as-found*). Sistem kemudian harus diperbaiki dengan melakukan penyesuaian pengaturan termostat agar sistem dapat berfungsi. Setelah dapat berfungsi, pengaturan termostat harus dikembalikan ke pengaturan semula dan pengaturan saat ditinggalkan (*as-left*) dicatat.
- Lakukan evaluasi kondisi cat dan kebersihan bagian luar kompartemen trafo dan sirip pendingin radiator. Pemeriksaan ini juga harus mencakup penilaian bahwa tidak ada hambatan aliran udara ke sirip pendingin radiator.
- Pantau suhu trafo, jika dapat diakses: Suhu trafo harus lebih rendah dari pada batas suhu operasi kumparan. Perlu mencari tahu apakah sensor yang ada adalah sensor batas atas suhu minyak atau sensor suhu kumparan. Perlu dicatat bahwa suhu minyak atas mungkin lebih rendah dari suhu kumparan. Dokumentasikan indikator suhu tinggi dan reset pada setiap pemeriksaan.
- Pantau tekanan trafo, bila dapat diakses dari selimut nitrogen di atas minyak. Alat ukur yang ada biasanya menunjukkan tekanan negatif dan positif. Tekanan dapat bervariasi dari sedikit negatif hingga sedikit positif karena suhu ambien dan kondisi pengoperasian. Untuk jenis trafo tertutup, tekanannya harus selalu dipertahankan sedikit positif.
- Pantau level minyak trafo, bila dapat diakses. Biasanya ada suatu tanda pada pengukur yang menunjukkan level 25°C , yang merupakan level minyak yang tepat untuk trafo pada suhu tersebut. Mempertahankan level minyak yang tepat sangat penting karena jika level minyak turun di bawah level saluran masuk radiator, aliran sirkulasi alami melalui radiator akan berhenti, sehingga tidak ada pendinginan dan trafo akan menjadi terlalu panas.
- Pelabelan busur api listrik/keselamatan/menurut undang-undang: Apakah semua kompartemen dilengkapi dengan tanda-tanda peringatan/label untuk keselamatan sebagaimana dipersyaratkan. Lakukan pengecekan misalnya untuk hal-hal sebagai berikut:
 - Label busur api listrik
 - Label bahaya sengatan listrik
 - Label peringatan untuk input ganda/*backpower*
 - Aturan keselamatan P3K
 - Pasal-pasal peraturan setempat yang berlaku
- Kompartemen terkunci (jika dipasang): Apakah semua pintu pada semua kompartemen listrik telah tertutup rapat dan semua telah terkunci dengan baik?
- Akses dan jalan keluar tidak terhalang – pintu dan lorong yang memungkinkan akses masuk dan keluar dari area di sekitar trafo ada dalam keadaan bebas dari halangan.
- Periksa apakah penampung minyak (jika ada) dalam keadaan bersih dan kosong. Setiap katup pembuangan harus dalam keadaan menutup dan terkunci kecuali jika dilengkapi dengan filter/alat penyaring.
- Pagar pembatas dan perangkat keamanan harus secara mekanis berfungsi dan aman. Rambu-rambu peringatan harus dipasang dan dapat terbaca. Pagar pembatas yang bersifat konduktif harus terhubung dengan arde dengan baik.

Setiap kekurangan harus dicatat dan dilaporkan untuk menjadi perhatian manajemen yang bersangkutan agar dilakukan tindakan korektif.

Pemeriksaan Fisik (A1)

Pemeriksaan ini hanya boleh dilaksanakan oleh seseorang yang memenuhi kualifikasi / terampil seperti teknisi listrik atau oleh seseorang yang telah mendapatkan pelatihan khusus untuk melaksanakan pemeriksaan ini. Pemeriksaan ini dilaksanakan dalam keadaan di mana trafo diisolasi dan tidak diberi aliran listrik.

Pemeriksaan fisik dilakukan untuk menilai kondisi keseluruhan koneksi trafo yang dipasang di dalam kotak pembagi jaringan (*junction*) atau kompartemen dan untuk mendeteksi jika ada masalah internal, seperti tumpahan dan kebocoran minyak, panas berlebih, kerusakan mekanis di dalam kotak pembagi jaringan dan kompartemen, dll. Pemeriksaan ini hanya berlaku untuk trafo dengan kotak pembagi jaringan atau lebih tepatnya dipasang pada kompartemen.

Koneksi primer dan sekunder ke trafo harus diputus aliran listriknya selama tugas ini dikerjakan. Pekerja harus diminta untuk mengenakan APD busur api listrik yang tepat, seperti yang digambarkan pada penutup kompartemen trafo, sampai kondisi kerja yang aman secara kelistrikan tercipta. Setelah kondisi kerja yang aman tercipta, penutup dapat dilepas untuk dilakukan pemeriksaan fisik.

Pemeriksaan ini akan mencakup, namun tidak terbatas pada:

- Kebocoran dan tumpahan minyak: Periksa apakah ada kebocoran minyak. Di sekitar *bushing* dan penetrasi yang terkait dengan trafo, rembesan minyak dari dalam trafo biasanya muncul berupa perubahan warna pada permukaan yang dicat di sekitar *bushing* atau penetrasi.
- Bukti adanya *tracking* dan korona: Terminasi dan *bushing* harus diperiksa apakah terdapat bukti adanya *tracking* dan korona.
- Periksa apakah ada kelembaban dan debu yang masuk ke dalam kompartemen. Pastikan bentuk gasket ada dalam kondisi baik.
- Bersihkan bagian eksterior trafo.

Setiap kekurangan harus dicatat dan dilaporkan untuk menjadi perhatian manajemen yang bersangkutan agar dilakukan tindakan korektif.

Analisis Sampel Minyak (A2)

Pengambilan sampel minyak trafo hanya boleh dilakukan oleh seseorang yang telah mendapatkan pelatihan khusus untuk melakukan pengambilan sampel.

Pengambilan sampel pada trafo dapat dilaksanakan dalam keadaan diberi aliran listrik atau tidak diberi aliran listrik. Jika trafo tetap diberi aliran listrik, maka pekerja diharuskan untuk

memakai APD busur api listrik yang tepat, seperti yang digambarkan pada kompartemen trafo ketika ada bahaya kelistrikan dan trafo harus dikonfigurasi untuk memungkinkan pengambilan sampel minyak saat diberi aliran listrik. Untuk memastikan keselamatan personil, mungkin perlu untuk dilakukan pemasangan port sampel dan ekstensi port sampel. Biasanya untuk trafo yang dipasang pada bantalan, akan diperlukan tersedianya ekstensi port sampel.

Perhatian khusus diperlukan untuk trafo kedap udara untuk mencegah masuknya udara selama pengambilan sampel, terutama untuk trafo dengan dinding bergelombang tanpa bantalan gas. Trafo ini hanya boleh dilakukan pengambilan sampel ketika ada tekanan berlebih di dalamnya. Hanya sejumlah kecil minyak yang boleh diambil sampel. Mungkin diperlukan untuk mengisi ulang minyak selama atau lebih tepatnya setelah pengambilan sampel.

- Sampel minyak harus diambil dan dikirim dengan menggunakan prosedur, botol sampel minyak dan jarum penyedot yang disetujui oleh laboratorium analisis.
- Semua sampel minyak harus dikirim ke laboratorium minyak yang disetujui untuk dianalisis. Sampel minyak dapat memburuk kondisinya seiring dengan berlalunya waktu. Oleh karena itu, sampel minyak harus dikirim ke laboratorium minyak pada hari yang sama pengambilan sampel.
- Minimal, untuk masing-masing sampel minyak harus dilakukan analisis parameter kualitas minyak sebagai berikut:
 - Tegangan *breakdown* dielektrik
 - Kadar air
 - Faktor daya
 - Tegangan antar muka
 - Angka netralisasi asam
 - Kejernihan secara visual,
 - Warna,
 - Berat Jenis,
 - Oksidasi Inhibitor, dan
 - Senyawa furan.
- Minimal, untuk masing-masing sampel minyak harus dilakukan analisis gas terlarut sebagai berikut (DGA):
 - Hidrogen (H_2)
 - Oksigen (O_2)
 - Nitrogen (N_2)
 - Metana (CH_4)
 - Asetilena (C_2H_2)
 - Etilen (C_2H_4)
 - Etana (C_2H_6)
 - Karbon monoksida (CO)
 - Karbon dioksida (CO_2)
 - Total gas yang mudah terbakar

Pemeriksaan Infra Merah (A3)

Pemeriksaan ini harus dilakukan sesuai dengan "Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Thermografi"

Untuk perencanaan pemeriksaan IR trafo, penting untuk memastikan bahwa trafo diberi aliran listrik dan bekerja pada kondisi normal – lebih disukai pada kondisi dengan diberi beban tertinggi sebagaimana biasa (pemeriksaan IR tidak boleh dilakukan selama pabrik *shutdown*).

Karena alasan konstruksinya, untuk dapat melindungi keselamatan personil semaksimal mungkin pada pemeriksaan IR atas koneksi trafo akan sulit dicapai. Maka, pemeriksaan IR dibatasi pada kasing trafo dan sirip radiator. Namun, lebih disukai bahwa sambungan-sambungan kabel di kompartemen kabel juga dipantau. Untuk keperluan melakukan evaluasi sambungan-sambungan kabel tersebut mungkin akan perlu memasang jendela IR untuk mengakomodasi agar tugas tersebut dapat dikerjakan dengan aman.

Saat membuka tutup trafo ketika trafo diberi aliran listrik diwajibkan untuk mengenakan APD busur api listrik dan sengatan listrik yang tepat seperti yang digambarkan pada tutup trafo.

1. Lakukan survei IR pada kasing trafo dan sirip radiator.
 - a. Periksa level minyak. Level minyak tidak boleh lebih rendah dari setengah tabung silang atas radiator. Trafo dengan konservator harus terisi penuh hingga tangki konservator.
 - b. Lakukan evaluasi profil suhu sirip radiator. Suhu yang lebih hangat di bagian atas dan suhu yang lebih dingin di bagian bawah menunjukkan sirkulasi alami yang tepat dari cairan isolasi.
2. Periksa semua sambungan ke trafo, baik internal ke kompartemen dan eksternal ke trafo. Buka pintu kompartemen kabel (atau jendela IR) dan periksa semua sambungan trafo di kompartemen kabel. Kompartemen HV hanya boleh dibuka jika aman untuk dilakukan – cara yang lebih disukai adalah dengan memasang jendela IR.
3. Periksa konduktor paralel apakah terdapat perbedaan suhu yang mengindikasikan ketidakseimbangan arus (kemungkinan karena kondisi peletakan yang salah)
4. Tutup kompartemen kabel (atau jendela IR) sebelum Anda pindah ke langkah berikutnya – pastikan semua pengancing pada pintu telah menutup dan terkunci.

Survei Emisi Ultrasonik (UE) (A4)

Pemeriksaan ini harus dilakukan sesuai dengan "Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Emisi Ultrasonik." Pengujian emisi ultrasonik hanya berlaku untuk sambungan pada tegangan 1000 V ke atas. Meskipun UE dapat dilakukan dalam semua kondisi cuaca, UE akan menemukan adanya cacat lebih mudah dalam kondisi kelembaban tinggi.

Dalam perencanaan pemeriksaan UE pada trafo, penting untuk memastikan bahwa trafo dalam keadaan diberi aliran listrik dan beroperasi pada kondisi normal – lebih disukai pada saat

dengan beban tertinggi sebagaimana dalam pengoperasian biasanya (pemeriksaan UE tidak boleh dilakukan selama pabrik *shutdown*).

Karena alasan konstruksinya, untuk dapat melindungi keselamatan personil semaksimal mungkin pada pemeriksaan sambungan-sambungan trafo akan sulit dicapai. Lebih dipilih melakukan pemantauan sambungan-sambungan kabel di kompartemen kabel. Untuk keperluan melakukan evaluasi sambungan-sambungan kabel tersebut mungkin akan perlu memasang jendela UE untuk mengakomodasi agar tugas tersebut dapat dikerjakan dengan aman.

1. Lakukan survei UE pada sambungan-sambungan trafo.
2. Buka pintu kompartemen kabel (atau port UE) dan periksa semua sambungan pada semua trafo di kompartemen kabel (tergantung pada jenis konstruksinya, sebuah trafo mungkin memiliki satu pintu untuk kompartemen kabel primer dan satu pintu untuk kompartemen kabel sekunder atau satu pintu tunggal untuk digunakan bersama pada kompartemen kabel). Buka pada kompartemen HV hanya boleh dibuka jika aman untuk dilakukan – cara yang lebih dipilih adalah dengan memasang port UE.
3. Tutup kompartemen kabel (atau jendela-jendela) sebelum Anda pindah ke langkah berikutnya – pastikan semua pengancing pada pintu telah menutup dan terkunci.

Pengujian Resistensi Isolasi (A8)

Pemeriksaan ini harus dilakukan sesuai dengan “Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Pengujian Resistensi Isolasi (A8)”.

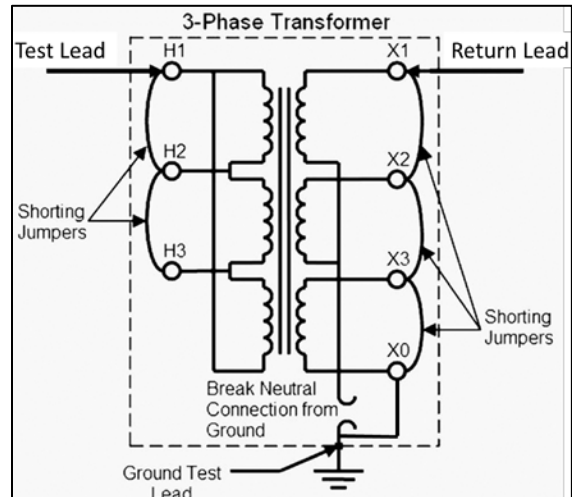
Pengaturan untuk uji resistensi isolasi:

1. Lakukan pengisolasian spesimen uji.
 - a. Lakukan langkah-langkah untuk menciptakan kondisi kerja yang aman secara kelistrikan.
 - b. Buka kompartemen terminasi yang bersangkutan untuk memungkinkan akses ke sambungan-sambungan kabel.
 - c. Identifikasi kabel-kabel untuk memungkinkan pemasangan kembali kabel-kabel tersebut secara benar setelah pengujian.
 - d. Lepaskan terminasi-terminasi kabel dan/atau bus dari trafo.
 - e. Pasang penghalang untuk pencegahan atau menempatkan petugas untuk memastikan orang lain menyadari dan terlindungi dari kemungkinan bahaya pengujian tersebut.
2. Catat kelembaban dan suhu ambien sebelum melakukan suatu pengujian resistansi isolasi.
3. Setel pengaturan megohmmeter sesuai dengan tegangan uji yang dilakukan:

Pengujian Pemeliharaan Resistensi Isolasi Trafo		
Jenis Peringkat Koil Trafo dalam Volt	Tegangan Uji DC Minimum	Resistensi Isolasi Minimum yang Direkomendasikan (Megohm)
		Berisi Cairan
0 - 600	1000	100
601 - 5000	2500	1000
Lebih besar dari 5000	5000	5000

Tabel ini diambil dari ANSI/NETA MTS-2015. Dalam hal tidak tersedia rekomendasi OEM, NETA menyarankan nilai-nilai representatif di atas.

4. Jumper terminal di sisi yang lebih tinggi menjadi satu (H1 - H3) dan jumper terminal di sisi lebih rendah menjadi satu (X0 - X3).
5. Ukur resistansi isolasi dari tinggi ke rendah plus arde selama 10 menit, catat hasil-hasil setiap menit. Hitung PI (rasio nilai sepuluh menit dibagi dengan nilai satu menit).
6. Ukur resistansi isolasi dari rendah ke tinggi plus arde selama 1 menit
7. Setelah pengujian selesai, lepaskan jumper
8. Bongkar penghalang untuk pencegahan dan sambungkan kembali terminasi-terminasi kabel dan/atau bus ke trafo.
9. Sambung kembali dan kencangkan kembali semua sambungan kabel dan tutup kompartemen-kompartemen kabel (atau jendela-jendela). Pastikan semua kunci di pintu tertutup dan terkunci.



Faktor Daya / Faktor Disipasi (A11)

Pemeriksaan ini harus dilakukan sesuai dengan “Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Pengujian Faktor Daya (A11)”.

Pengukuran faktor daya bersifat peka terhadap suhu; oleh karena itu, suhu ambien dan suhu minyak teratas harus dipertimbangkan pada saat melakukan evaluasi hasil-hasil pengujian. Pengukuran faktor daya juga bersifat sensitif terhadap kelembaban dan kontaminasi. Oleh karena itu, hasil-hasil terbaik akan didapatkan jika pengukuran dilakukan ketika spesimen uji dalam keadaan kering dan bersih.

Semua pengujian AC (terutama pengujian eksitasi) harus dilakukan sebelum pengujian DC. Pengujian DC, seperti halnya pada pengujian resistansi isolasi dan pengujian resistansi

kumparan, dapat berdampak didapatkannya hasil-hasil yang tidak tepat terhadap pengujian lain jika dilakukan terlebih dahulu.

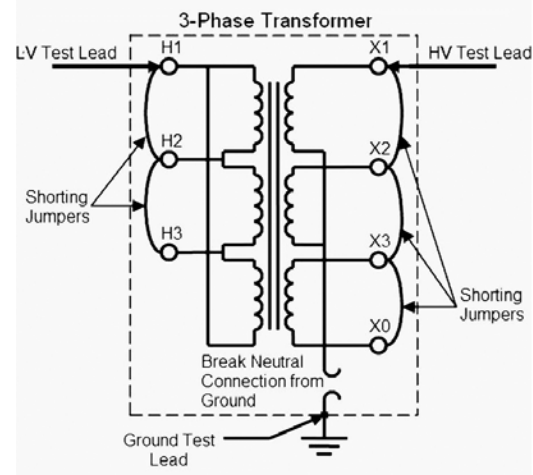
Beberapa trafo memiliki sambungan wye internal yang terhubung ke arde. Dalam hal demikian, Anda tidak dapat mengisolasi kumparan dari arde dan uji faktor daya tidak dapat dilakukan. Untuk trafo wye-wye (Yy) yang memiliki bushing X0/H0 bersama, hanya satu uji faktor daya yang dapat dilakukan. Inti dan koil harus diuji dalam satu pengujian ke arde. Untuk pengujian ini, tegangan yang dipilih haruslah tegangan kumparan dengan nilai terendah.

Pengaturan untuk uji faktor daya:

1. Lakukan pengisolasian spesimen uji.
 - a. Lakukan langkah-langkah untuk menciptakan kondisi kerja yang aman secara kelistrikan.
 - b. Buka kompartemen terminasi yang bersangkutan untuk memungkinkan akses ke sambungan-sambungan kabel.
 - c. Identifikasi kabel-kabel untuk memungkinkan pemasangan kembali kabel-kabel tersebut secara benar setelah pengujian.
 - d. Lepaskan terminasi-terminasi kabel dan/atau bus dari trafo.
 - e. Pasang penghalang untuk pencegahan atau menempatkan petugas untuk memastikan orang lain menyadari dan terlindungi dari kemungkinan bahaya pengujian tersebut.
2. Catat informasi sebagai berikut untuk trafo.
 - a. Jenis trafo – Kering, berisi minyak, dll.
 - b. Suhu minyak teratas – Jika tidak dilengkapi dengan pengukur suhu minyak, cara untuk memperkirakan suhu minyak adalah dengan mengukur suhu dinding trafo dan menambahkan $2/3$ selisih antara suhu udara ambien dan suhu dinding trafo (yaitu $T_s + 2/3(T_s - T_a) \sim T_o$).
 - c. Konfigurasi kumparan – Delta-delta, delta-wye, wye-wye, dll.
 - d. Peringkat (kVA) – Catat semua peringkat (yaitu, 100/1333/1500).
 - e. Kelas – OA, OA/FA, dll.
 - f. Tangki Utama – Catat jenis minyak yang digunakan. Pilih Tidak Ada jika jenis trafo kering)
3. Setel pengaturan perangkat uji faktor daya sesuai dengan tegangan uji yang dilakukan:

Tegangan Uji Faktor Daya Doble yang Direkomendasikan untuk Trafo Distribusi dan Daya yang Berisi Cairan	
Peringkat Kumparan Trafo (kV Baris ke Baris)	Tegangan Uji (kV Baris ke Arde)
12 ke atas	10
5,04 hingga 8,72	5
2,4 hingga 4,8	2
Di bawah 2,4	1
Tabel ini diambil dari panduan referensi Doble M4100.	

Dengan jumper yang disediakan, sambungkan sisi yang lebih tinggi (yaitu H1, H2, dan H3) menjadi satu dan sisi lebih rendah (yaitu X1, X2, X3, dan X0) menjadi satu. Jika X0 terhubung ke arde, *lead* ini harus diputus sambungannya untuk keperluan melakukan pengujian.



4. Setelah melakukan verifikasi apakah para personil berada pada situasi yang aman, terapkan tegangan dan lakukan uji faktor daya sesuai dengan "Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Pengujian Faktor Daya / Faktor Disipasi (A11)".
5. Setiap kali menyelesaikan satu pengujian, lakukan verifikasi bahwa pengujian tersebut telah diselesaikan sebelum menyentuh *lead* untuk melepas atau memindahkannya.
6. Setelah semua pengujian diselesaikan, lepaskan jumper dan *lead* pengujian.
7. Setelah semua pengujian diselesaikan, bongkar penghalang untuk pencegahan dan sambungkan kembali terminasi-terminasi kabel dan/atau bus ke trafo. Hubungkan kembali X0 ke arde, jika perlu.
8. Setelah semua kabel dan/atau bus disambungkan kembali dan dikencangkan, tutup kompartemen-kompartemen kabel (atau jendela-jendela) sebelum Anda pindah ke langkah berikutnya – pastikan semua pengancing pada pintu telah menutup dan terkunci.
9. Hanya setelah semua langkah di atas dilakukan, trafo baru dikembalikan dari posisi kondisi kerja yang aman secara kelistrikan dan dikembalikan ke posisi pengoperasian untuk penggunaan di masa mendatang.

Resistensi Kumparan (A12)

Pemeriksaan ini harus dilakukan sesuai dengan "Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Pengujian Resistensi Kumparan (A12)".

Catatan untuk Pencegahan: Karena jumlah energi yang dapat tersimpan dalam medan magnet adalah sangat besar, maka tindakan pencegahan harus dilakukan sebelum memutuskan sambungan *lead* uji dari trafo yang sedang diuji. Jangan pernah melepaskan *lead* selama proses pengujian dan selalu luangkan waktu yang cukup sehingga muatan listrik terbuang dari trafo yang sedang diuji. Trafo besar mungkin membutuhkan waktu beberapa menit sampai muatan listriknya terbuang habis.

Pengaturan untuk uji resistensi kumparan:

1. Lakukan pengisolasian spesimen uji.

Dokumen ini bersifat rahasia dan merupakan milik Cargill. Dokumen ini tidak boleh direproduksi, disalin, atau isinya dikomunikasikan kepada pihak ketiga tanpa izin tertulis dari Cargill.

- a. Lakukan langkah-langkah untuk menciptakan kondisi kerja yang aman secara kelistrikan.
- b. Buka kompartemen terminasi yang bersangkutan untuk memungkinkan akses ke sambungan-sambungan kabel.
- c. Identifikasi kabel-kabel untuk memungkinkan pemasangan kembali kabel-kabel tersebut secara benar setelah pengujian.
- d. Lepaskan terminasi-terminasi kabel dan/atau bus dari trafo.
- e. Pasang penghalang untuk pencegahan atau menempatkan petugas untuk memastikan orang lain menyadari dan terlindungi dari kemungkinan bahaya pengujian tersebut.
2. Catat informasi sebagai berikut untuk trafo.
 - a. Jenis trafo – Kering, berisi minyak, dll.
 - b. Suhu minyak teratas – Jika tidak dilengkapi dengan pengukur suhu minyak, cara untuk memperkirakan suhu minyak adalah dengan mengukur suhu dinding trafo dan menambahkan $2/3$ selisih antara suhu udara ambien dan suhu dinding trafo (yaitu $T_s + 2/3(T_s - T_a) \sim T_o$).
 - c. Konfigurasi kumparan – Delta-delta, delta-wye, wye-wye, dll.
 - d. Peringkat (kVA) – Catat semua peringkat (yaitu, 100/1333/1500).
 - e. Kelas – OA, OA/FA, dll.
 - f. LTC – Catat posisi keran.
3. Catat kelembaban dan suhu ambien sebelum melakukan suatu pengujian resistensi kumparan.
4. Ukur resistensi kumparan fase ke fase untuk kedua kumparan di sisi lebih tinggi dan sisi lebih rendah. Matikan megohmmeter di antara setiap pengujian sebelum menyentuh *lead* untuk melepaskan atau memindahkannya.
5. Setelah semua pengujian diselesaikan, bongkar penghalang untuk pencegahan dan sambungkan kembali terminasi-terminasi kabel dan/atau bus ke trafo. Hubungkan kembali X0 ke arde, jika perlu.
6. Setelah semua kabel dan/atau bus disambungkan kembali dan dikencangkan, tutup kompartemen-kompartemen kabel (atau jendela-jendela) sebelum Anda pindah ke langkah berikutnya – pastikan semua pengancing pada pintu telah menutup dan terkunci.
7. Hanya setelah semua langkah di atas dilakukan, bongkar rambu-rambu LOTO, jika perlu, dan kembalikan trafo ke posisi pengoperasian untuk penggunaan di masa mendatang.

Nilai-nilai Pengujian

Analisis minyak (A2)

Batas-batas Kualitas Minyak: Kualitas minyak harus dipantau dan dilihat kecenderungannya dalam upaya untuk evaluasi terhadap sistem isolasinya atas kelayakan (*acceptability*), penuaan, dan degradasi kondisinya. Untuk keperluan ini dilakukan dengan cara memonitor tegangan *breakdown* dielektrik, kadar air minyak, faktor disipasi/daya minyak, angka netralisasi asam, tegangan antar muka, kejernihan visual, dan warna. Di bawah ini tersedia tabel batas-batas kualitas sampel minyak untuk minyak mineral, FR3, dan Silikon:

Batas-batas Tingkat Kekritisan Cargill - Trafo Minyak				
Batas-batas Tingkat Kekritisan Cargill - Kualitas Minyak (sampai dengan 69kV) ¹				
Pengujian	Standar ²	Minyak Mineral - Batas-batas Kualitas Minyak		
Tingkat Kekritisan:		Tidak Ada Kekurangan	Tinggi	Kritis
Kondisi secara visual	ASTM D 1524 (ISO 2049)	Cerah, jernih, dan bebas partikel	Warna gelap	Partikel tersuspensi
Warna ⁴	ASTM D 1500 (ISO 2049)	< 0,5	0,5 - 3,5	>3,5
Tegangan Breakdown Dielektrik (kV) minimum ³	ASTM D 877 (EN 60156)	> 26 (>30)	Tidak Ada	< 26 (< 30)
Tegangan Breakdown Dielektrik (kV) @ celah 1mm	ASTM D 1816	> 23	Tidak Ada	< 26
Tegangan Breakdown Dielektrik (kV) @ celah 2mm	ASTM D 1816	> 40	Tidak Ada	< 26
Kandungan Air @ 60°C (ppm)	ASTM D 1533 (EN 60814)	< 35	Tidak Ada	> 35
Faktor Daya PF @ 25°C (%)	ASTM D 924 (EN 60247)	< 0,5	Tidak Ada	> 0,5
Faktor Daya PF @ 100°C (%)	ASTM D 924	< 5,0	Tidak Ada	> 0,5
Tegangan Antarmuka IFT (mN/m atau dynes/cm)	ASTM D971 / D2285	> 25	Tidak Ada	< 25
(Asam) Angka Kenetralan (mg KOH/g)	ASTM D 974 (EN 62021)	< 0,20 (< 0,3)	Tidak Ada	> 0,2 (> 0,3)
Berat Jenis (Kerapatan Relatif) @ 15°C	ASTM D 1298	0,84 - 0,91	< 0,84	> 0,91
Inhibitor Oksidasi (DBPC) (%) ⁵		> 0,2	0,1 hingga 0,2	< 0,1
2FAL Furan untuk Trafo ⁵ 55°C (ppb)		0 - 100	101 - 250	> 250
Catatan: ¹ Nilai-nilai dalam tabel ini didasarkan pada NETA 2005, Tabel 100.4.1 dan IEEE C57.106-2002 Panduan untuk Penerimaan dan pemeliharaan Minyak Isolasi pada Peralatan, Tabel 1, 5 dan 7 ² Alternatif standar IEC diberikan dalam tanda kurung - nilai-nilai pengujian terkait dengan NETA 2005 Tabel 100.4.1 ³ IEEE STD 637-1985 Panduan untuk Reklamasi Minyak Isolasi dan Kriteria untuk penggunaannya, Tabel 1 ⁴ NETA menyarankan dalam hal tidak tersedia konsesus standar nilai 3,5 yang lebih mirip kuning gelap. sementara IEEE menyarankan nilai 0,5 untuk minyak baru, mana yang cerah dan jernih ⁵ Tidak termasuk dalam tabel NETA; nilai-nilai didasarkan pada SD Myers				

Job Aid – J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{kVA}$)

Batas-batas Tingkat Kekritisan Cargill - Kualitas Minyak Trafo			
Pengujian	FR3 - Batas-batas Kualitas Minyak*		
Tingkat Kekritisan:	Tidak Ada Kekurangan	Tinggi	Kritis
Visual	Jernih, Bebas partikel	Warna Gelap	Partikel tersuspensi
Warna	< 0,5	> 0,5	> 0,5
Tegangan Breakdown Dielektrik (kV)	> 26	< 26	< 26
Kandungan Air (ppm)	< 200	> 200	> 200
PF @ 25° C (%)	< 0,5	> 0,5	> 0,5
IFT (dynes/cm)	---	---	---
Kenetralan Asam (mg KOH/gm)	< 0,5	> 0,5	> 0,5
Berat Jenis, 60/60	0,920 hingga 0,925	< 0,92 dan > ,925	< 0,92 dan > ,925
Inhibitor Oksidasi (DBPC)	< 0,3	0,15 hingga 0,3	< 0,15
2FAL Furan untuk Trafo 55°C	< 450	451 hingga 750	> 751
IEEE C57.121 - 1988 Panduan untuk Penerimaan dan Pemeliharaan Cairan Hidrokarbon yang Tidak Mudah Terbakar dalam Trafo, Tabel 3			

Batas-batas Tingkat Kekritisan Cargill - Kualitas Minyak Trafo			
Pengujian	Silikon - Batas-batas Kualitas Minyak*		
Tingkat Kekritisan:	Tidak Ada Kekurangan	Tinggi	Kritis
Visual	Jernih, Bebas partikel	Warna Gelap	Partikel tersuspensi
Warna	< 0,5	> 0,5	> 0,5
Tegangan Breakdown Dielektrik (kV)	> 30	< 30	< 30
Kandungan Air (ppm)	< 70	> 70	> 70
PF @ 25° C (%)	< 0,2	> 0,2	> 0,2
IFT (dynes/cm)	---	---	---
Kenetralan Asam (mg KOH/gm)	< 0,1	> 0,1	> 0,1
Berat Jenis, 60/60	0,960 hingga 0,965	< 0,960 dan > ,965	< 0,96 dan > ,965
Inhibitor Oksidasi (DBPC)	0,3 hingga 0,28	< 0,28	< 0,15
2FAL Furan untuk 55°C Trafo	< 450	451 hingga 750	> 751
IEEE C57.111 - 1989 Panduan untuk Penerimaan Cairan Insulasi Silikon dan Pemeliharaannya pada Trafo, Tabel 3			

Dokumen ini bersifat rahasia dan merupakan milik Cargill. Dokumen ini tidak boleh direproduksi, disalin, atau isinya dikomunikasikan kepada pihak ketiga tanpa izin tertulis dari Cargill.

Job Aid – J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{kVA}$)

Batas-batas Gas Utama: Di bawah ini adalah tabel batas-batas gas utama untuk minyak mineral, FR3, dan Silikon:

Batas-batas Tingkat Kekritisan Cargill - Trafo Minyak

Batas-batas Penerimaan Cargill - Trafo Minyak DGA				
Gas Utama	Minyak Mineral - Batas-batas Gas Utama (ppm)			
	Tingkat Kekritisan	Tidak Ada Kekurangan	Tinggi	Kritis
Hidrogen	H ₂	< 100	100 hingga 1800	> 1800
Oksigen	O ₂	< 3500	3501 hingga 7000	> 7000
Metana	CH ₄	< 120	120 hingga 1000	> 1000
Etana	C ₂ H ₂	< 65	65 hingga 150	> 150
Etilen	C ₂ H ₄	< 50	50 hingga 200	> 200
Asetilen	C ₂ H ₆	< 35	35 hingga 80	> 80
Karbon Monoksida	CO	< 350	350 hingga 1400	> 1400
Karbon Dioksida	CO ₂	< 2500	2500 hingga 10000	> 10000
TDCG	TDCG	< 720	720 hingga 4630	> 4630
* Jika terdapat beberapa indikasi masalah maka perlu diambil tindakan dengan segera.				
Tabel ini didasarkan pada informasi yang disediakan dalam ANSI / IEEE C57.104				

Batas-batas Tingkat Kekritisan Cargill - Trafo Minyak

Batas-batas Penerimaan Cargill - Trafo Minyak DGA				
Gas Utama	FR3 - Batas-batas Gas Utama (ppm)			
	Tingkat Kekritisan	Tidak Ada Kekurangan	Tinggi	Kritis
Hidrogen	H ₂	< 100	100 hingga 1800	> 1800
Oksigen	O ₂	< 3500	3501 hingga 7000	> 7000
Metana	CH ₄	< 120	120 hingga 1000	> 1000
Etana	C ₂ H ₂	< 65	65 hingga 250	> 250
Etilen	C ₂ H ₄	< 50	50 hingga 200	> 200
Asetilen	C ₂ H ₆	< 35	35 hingga 80	> 80
Karbon Monoksida	CO	< 350	350 hingga 1400	> 1400
Karbon Dioksida	CO ₂	< 2500	2500 hingga 10000	> 10000

Dokumen ini bersifat rahasia dan merupakan milik Cargill. Dokumen ini tidak boleh direproduksi, disalin, atau isinya dikomunikasikan kepada pihak ketiga tanpa izin tertulis dari Cargill.

Job Aid – J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{kVA}$)

TDCG	TDCG	< 720	720 hingga 4630	> 4630
* Jika terdapat beberapa indikasi masalah maka perlu diambil tindakan dengan segera.				
Tabel ini didasarkan pada informasi yang disediakan dalam ANSI / IEEE C57.104				

Batas-batas Penerimaan Cargill - Trafo Minyak DGA				
Gas Utama	Silikon - Batas-batas Gas Utama (ppm)			
	Tingkat Kekritisian	Tidak Ada Kekurangan	Tinggi	Kritis
Hidrogen	H ₂	< 100	100 hingga 1800	> 1800
Oksigen	O ₂	< 3500	3501 hingga 7000	> 7001
Metana	CH ₄	< 120	120 hingga 1000	> 1000
Etana	C ₂ H ₂	< 65	65 hingga 150	> 150
Etilen	C ₂ H ₄	< 50	50 hingga 200	> 200
Asetilen	C ₂ H ₆	< 35	35 hingga 80	> 80
Karbon Monoksida	CO	< 350	350 hingga 1000	> 1000
Karbon Dioksida	CO ₂	< 2500	2500 hingga 20000	> 20000
TDCG	TDCG	< 720	720 hingga 4630	> 4630
* Jika terdapat beberapa indikasi masalah maka perlu diambil tindakan dengan segera.				
Tabel ini didasarkan pada informasi yang disediakan dalam ANSI / IEEE C57.104				

Rasio Gas Utama: Jika ditemukan bahwa konsentrasi gas utama telah melampaui batas normal, teknik analisis lain harus dipertimbangkan untuk menentukan potensi masalah pada trafo. Teknik ini akan melibatkan penghitungan rasio-rasio gas utama dan membandingkan rasio-rasio ini dengan batas-batas yang disarankan. Beberapa teknik yang paling umum digunakan termasuk penerapan rasio-rasio Doernenburg dan rasio-rasio Rogers.

Rasio-rasio Doernenburg dan rasio-rasio Rogers diakui dalam ANSI/IEEE C57.104 dan setara dengan "Rasio-rasio Gas Dasar" dalam standar IEC. Metode evaluasi yang diterapkan untuk rasio-rasio Doernenburg dan rasio-rasio Rogers menggunakan rasio-rasio gas sebagai berikut: CH₄/H₂, C₂H₂/C₂H₄, C₂H₂/CH₄, C₂H₆/C₂H₂ dan C₂H₄/C₂H₆. Penggunaan rasio-rasio tersebut terjamin karena tingkat yang bervariasi dari gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dengan variasi suhu dan energi untuk mode kesalahan yang berbeda. Rasio-rasio tersebut juga memungkinkan tingkat yang berbeda karena gas larut ke dalam minyak mineral. Diagnosis kesalahan dilakukan melalui skema sederhana berdasarkan rentang rasio-rasio tersebut.

Di bawah ini adalah tabel batas-batas rasio gas utama untuk cairan isolasi yang sudah lama penggunaannya:

Deskripsi Rasio Gas Utama		Rasio-rasio Doernenberg				Rasio-rasio Rogers		
		R1 - Metana/ Hidrogen	R2 - Asetilen/ Etilen	R3 - Asetilen/ Metana	R4 - Etana/ Asetilen	R1 - Metana/ Hidrogen	R2 - Asetilen/ Etilen	R5 - Etilen/ Etana
Jenis Kesalahan		CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$
T 1	Kesalahan Termal $< 300^\circ\text{C}$					$0,1 < \text{R1} < 1,0$	$\text{R2} < 0,1$	$1,0 < \text{R5} < 3,0$
T 2	Kesalahan Termal $300\text{-}700^\circ\text{C}$	$1,0 < \text{R1}$	$\text{R2} < 0,75$	$\text{R3} < 0,3$	$0,4 < \text{R4}$	$1,0 < \text{R1}$	$\text{R2} < 0,1$	$1,0 < \text{R5} < 3,0$
T 3	Kesalahan Termal $> 700^\circ\text{C}$					$1,0 < \text{R1}$	$\text{R2} < 0,1$	$3,0 < \text{R5}$
D 1	Energi Rendah / Pelepasan Sebagian	$\text{R1} < 0,1$		$\text{R3} < 0,3$	$0,4 < \text{R4}$	$\text{R1} < 0,1$	$\text{R2} < 0,1$	$\text{R5} < 1,0$
D 2	Pelepasan Energi Tinggi	$0,1 < \text{R1} < 1,0$	$0,75 < \text{R2}$	$0,3 < \text{R3}$	$\text{R4} < 0,4$	$0,1 < \text{R1} < 1,0$	$1,0 < \text{R2} < 3,0$	$3,0 < \text{R5}$

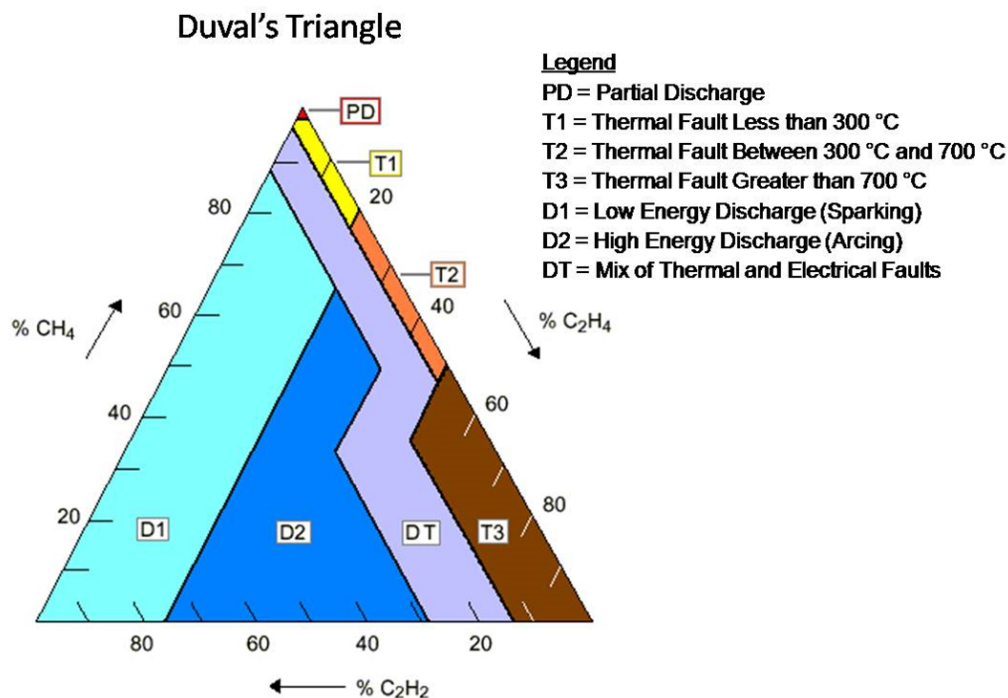
Di bawah ini adalah tabel batas-batas rasio gas utama untuk cairan isolasi sudah lama penggunaannya dari EN-IEC 60599.

Deskripsi Rasio Gas Utama		Tabel Penafsiran DGA dari EN-IEC 60599		
		Asetilen/Etilen	Metana/Hidrogen	Etilen/Etana
Jenis Kesalahan		$\frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4}$	$\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2}$	$\frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6}$
PD	Pelepasan Sebagian (lihat Catatan 3 & 4)	NS ¹⁾	$< 0,1$	$< 0,2$
D1	Pelepasan pada energi rendah	$> 1,0$	$0,1 - 0,5$	$> 1,0$
D2	Pelepasan pada energi tinggi	$0,6 - 2,5$	$0,1 - 1,0$	$> 2,0$
T1	Kesalahan Termal: $t < 300^\circ\text{C}$	NS ¹⁾	> 1 namun NS ¹⁾	$< 1,0$
T2	Kesalahan Termal: $300^\circ\text{C} < t < 700^\circ\text{C}$	$< 0,1$	$> 1,0$	$1,0 - 4,0$

Job Aid – J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{kVA}$)

T3	Kesalahan Termal: $t > 700^\circ\text{C}$	$< 0,2^{(2)}$	$> 1,0$	$> 4,0$
Catatan 1 - Di beberapa negara, digunakan rasio $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_6$, bukan rasio CH_4/H_2 . Di beberapa negara, juga digunakan batas-batas rasio yang sedikit berbeda. Catatan 2 - Rasio di atas adalah penting dan hanya perlu dihitung jika setidaknya salah satu gas memiliki konsentrasi dan laju kenaikan Gas di atas nilai-nilai biasanya. Catatan 3 - $\text{CH}_4/\text{H}_2 < 0,2$ untuk pelepasan sebagian pada instrumen trafo. Catatan 4 - Pola dekomposisi gas yang mirip dengan pelepasan sebagian telah dilaporkan sebagai hasil dekomposisi lapisan tipis minyak antara laminasi inti yang terlalu panas pada suhu 140°C ke atas.				
¹⁾ NS = Non signifikan berapa pun nilainya. ²⁾ Nilai peningkatan jumlah C_2H_2 dapat menunjukkan bahwa spot suhu panas lebih tinggi dari pada 1.000°C .				

Teknik lain yang berguna untuk melakukan evaluasi rasio gas utama adalah dengan menggunakan Model Segitiga Duval.



Rasio CO_2/CO juga digunakan sebagai indikator adanya dekomposisi termal selulosa. Tingkat CO_2 yang terbentuk biasanya akan 7 hingga 20 kali lebih tinggi dari pada CO . Oleh karena itu, akan dianggap normal jika rasio CO_2/CO di atas 7. Jika rasio CO_2/CO adalah 5 atau kurang, mungkin ada masalah. Jika degradasi selulosa adalah masalahnya, CO , H_2 , metana (CH_4), dan etana (C_2H_6) juga akan meningkat secara signifikan. Pada titik ini, direkomendasikan untuk melakukan pengujian furan tambahan. Jika rasio CO_2/CO adalah 3 atau kurang dengan peningkatan furan, selulosa mengalami penurunan kualitas yang parah dan cepat dan maka harus dipertimbangkan untuk menghentikan penggunaan trafo dan untuk dilakukan pemeriksaan lebih lanjut.

Batas-batas suhu untuk pemeriksaan IR (A3)

Sebagaimana yang diberikan dalam “Standar Pelaksanaan Kerja Unggul Terpercaya Cargill untuk Thermografi (A3)”

Pengujian Resistansi Isolasi (A8)

Kriteria Tingkat Kekritisan Cargill - Pengujian Resistensi Isolasi Trafo

Resistensi Isolasi Trafo (Megohm)			
Angka Peringkat Peralatan (V)	Berisi Cairan		
Tingkat Kekritisan:	Tidak ada kekurangan	Tinggi	Kritis*
0 hingga 600	> 100	50 hingga 100	< 50
601 hingga 5000	> 1000	500 hingga 1000	< 500
> 5000	> 5000	2500 hingga 5000	< 2500
Indeks Polarisasi:			
Tingkat Kekritisan:	Tidak ada kekurangan	Tinggi	Kritis*
Indeks Polarisasi:	> 1	< 1	< 1
* Beberapa indikasi mengenai suatu masalah pada pengujian-pengujian trafo lain diperlukan untuk kemudian dilakukan tindakan dengan segera.			

Resistensi isolasi bersifat peka terhadap suhu. Saat membandingkan hasil-hasil pembacaan dengan data sebelumnya atau menentukan kriteria lulus/gagal, Anda harus melakukan koreksi suhu. Tabel-tabel konversi isolasi yang tersedia di “Standar Pelaksanaan Kerja Cargill untuk Pengujian Resistansi Isolasi (A8)” harus digunakan untuk melakukan koreksi suhu.

Pengujian Faktor Daya (A11)

Kriteria Tingkat Kekritisan Cargill - Pengujian Eksitasi Trafo

Faktor Daya:			
Tingkat Kekritisan	Tidak ada kekurangan	Tinggi	Kritis*
Faktor Daya*:	< 1%	> 1%	> 1%*
Arus Eksitasi:			
Pola	2 tinggi serupa dan 1 bacaan rendah	Hasil pembacaan tinggi, sedang, dan rendah	Hasil pembacaan tinggi, sedang, dan rendah
	Perbandingan Nilai-nilai Tinggi		

Job Aid – J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{kVA}$)

Jika $\leq 50 \text{ mA}$	< 10% Variasi	> 10% Variasi	> 10% Variasi
Jika > 50mA	< 5% Variasi	> 5% Variasi	> 5% Variasi
* Beberapa indikasi mengenai suatu masalah pada pengujian-pengujian trafo lain diperlukan untuk kemudian dilakukan tindakan dengan segera.			

Pengukuran faktor daya bersifat sensitif terhadap suhu. Saat membandingkan hasil-hasil pembacaan dengan data sebelumnya atau menentukan kriteria lulus/gagal, Anda harus melakukan koreksi suhu. Tabel-tabel konversi isolasi yang tersedia dalam "Standar Pelaksanaan Kerja RE Cargill untuk Pengujian Faktor Daya (A11)" harus digunakan untuk melakukan koreksi suhu.

Pengujian Resistensi Kumpanan (A12)

Kriteria Tingkat Kekritisan Cargill - Pengujian Resistensi Kumpanan

Resistensi Kumpanan Trafo:			
Tingkat Kekritisan	Tidak ada kekurangan	Tinggi	Kritis*
Resistensi Kumpanan**:	< 1% Variasi	> 1% Variasi	> 1% Variasi
* Beberapa indikasi mengenai suatu masalah pada pengujian-pengujian trafo lain diperlukan untuk kemudian dilakukan tindakan dengan segera..			
** Ketika membandingkan dengan nilai-nilai hasil pengukuran sebelumnya dari kumpanan yang sama, kriteria harus dalam 1%. Ketika membandingkan pengukuran-pengukuran serupa tanpa data yang ada sebelumnya, variasi harus dalam 5%.			

Batas-batas kenaikan suhu

Batas-batas kenaikan suhu harus digunakan untuk mengatur alarm suhu trafo. Dalam hal tidak tersedia rekomendasi OEM untuk masing-masing, nilai-nilai sebagai berikut dapat digunakan:

Persyaratan untuk	Batas-batas kenaikan suhu K
Cairan isolasi teratas	60
Rata-rata kumparan (dengan resistensi kumparan bervariasi): - Sistem pendingin ON dan OF - Sistem pendingin OD	65 70
Spot panas kumparan	78

Berkenaan dengan persyaratan kenaikan suhu normal, tidak boleh melebihi suhu ambien sebagai berikut:


- + 40 °C setiap saat;
- + 30 °C rata-rata bulanan, pada bulan terpanas;
- + 20 °C rata-rata tahunan

CATATAN:


Suhu rata-rata harus diperoleh dari data meteorologi sebagai berikut (lihat IEC 60076-1):

- *Suhu rata-rata bulanan: Setengah dari jumlah rata-rata maksimum harian dan rata-rata minimum harian selama bulan tertentu, selama bertahun-tahun;*
- *Suhu rata-rata tahunan: Satu per dua belas dari jumlah suhu rata-rata bulanan.*

Lembar Pengujian



POWER TRANSFORMER TESTS



CUSTOMER _____

ADDRESS _____

USER _____

DATE _____ TEMPERATURE _____ °F HUMIDITY _____ %

SUBSTATION _____

PAGE _____

JOB # _____

CMMS # _____

EQPT. LOCATION _____

CIRCUIT ID _____

TEST STATUS _____

Nameplate Data

Serial Number _____

Manufacturer _____

Winding Material _____

Allowed Error _____ %

Year _____

Phases _____

Reason _____

Weight _____ lb

Class _____

Coolant _____

Oil Volume _____ GAL

Oil Temp _____ °C


BIL _____ kV

Impedance _____ %


Weather _____

Tank Type _____

Kit Highside



Kit Lowside



	Voltage (kV)	kVA	Rated I	# Taps	Nominal	Charger	Tap Setting
Primary				5	3	Off Load	
Secondary				1			

Diagram # 3 (ANSI)

Test Frequency 60 Hz

Comments: _____

High Side Taps To Low Side Nominal Turns Ratio Tests

#	H TAP	Voltage H/L	Test V	TTR	$H_1 - H_2 / X_1 - X_2$				$H_2 - H_3 / X_2 - X_3$				$H_3 - H_4 / X_3 - X_4$				
					Actual TTR	% Error	I exc mA	Phase (Deg)	Actual TTR	% Error	I exc mA	Phase (Deg)	Actual TTR	% Error	I exc mA	Phase (Deg)	
1																	

High Side Nominal To Low Side Taps Turns Ratio Tests

#	Tap H/L	Voltage H/L	Test V	TTR	$H_1 - H_2 / X_1 - X_2$				$H_2 - H_3 / X_2 - X_3$				$H_3 - H_4 / X_3 - X_4$				
					Actual TTR	% Error	I exc mA	Phase (Deg)	Actual TTR	% Error	I exc mA	Phase (Deg)	Actual TTR	% Error	I exc mA	Phase (Deg)	
1	Nominal	0	0														

Transformer Overall Tests - Two Winding

Test No.	INSULATION TESTED	Test Mode	Test Lead Connections				TEST kV	Capacitance C (pF)	Power Factor %			Equip		Insulation Rating
			HV	Rad	Blue	Gnd			Measured	@ 20°C	Corr Factor	mA	Watts	
1	$C_{HG} + C_{HL}$	GST-GND	H	L		G								
2	C_{HG}	GSTp-RD	H	L		G								
3	C_{HL}	UGT-R	H	L		G								
4	C_{HL}'		Test 1 Minus Test 2											
5	$C_{LG} + C_{LE}$	GST-GND	L	H		G								
6	C_{LG}	GSTp-RD	L	H		G								
7	C_{LE}	UGT-R	L	H		G								
8	C_{LE}'		Test 5 Minus Test 6											
9	C_{HG}'		C_{HG} Minus H Bushings											
10	C_{LG}'		C_{LG} Minus L Bushings											

TEST EQUIPMENT USED: _____

TESTED BY: Kant Ahandi

COPYRIGHT © 2002-2017 POWERTECH, INC.

www.powertech.com

PG000, Form Release 0

POWER TRANSFORMER TESTS



PAGE _____

Transformer - Bushing C1 Tests												
Test No.	Cdg	Test Mode	Test kV	Nameplate		Capacitance C (pF)	Power Factor %			Direct		Insul. Rating
				Pf	Cap. (pF)		Measured	@ 30°C	Corr Factor	mA	Watts	
1	H1	UST-R										
2	H2	UST-R										
3	H3	UST-R										
4	X1	UST-R										
5	X2	UST-R										
6	X3	UST-R										

Transformer - Bushing C2 Tests												
Test No.	Cdg	Test Mode	Test kV	Nameplate		Capacitance C (pF)	Power Factor %			Direct		Insul. Rating
				Pf	Cap. (pF)		Measured	@ 30°C	Corr Factor	mA	Watts	
1	H1	GSTg-R										
2	H2	GSTg-R										
3	H3	GSTg-R										
4	X1	GSTg-R										
5	X2	GSTg-R										
6	X3	GSTg-R										

Transformer - X2 Hot Collar Tests								
Test No.	Cdg	Designation	Test Mode	Test kV		Direct		Insulation Rating
						mA	Watts	
1	H1		GST-GND					

Transformer - X2 Surge Arresters												
	Location	Serial #	Mfr	Overall Catalog	Unit Catalog	Type	Rated kV	ORDER	Test Mode	Test kV		Insul. Rating
1									GST-GND			
2									GST-GND			
3									GST-GND			

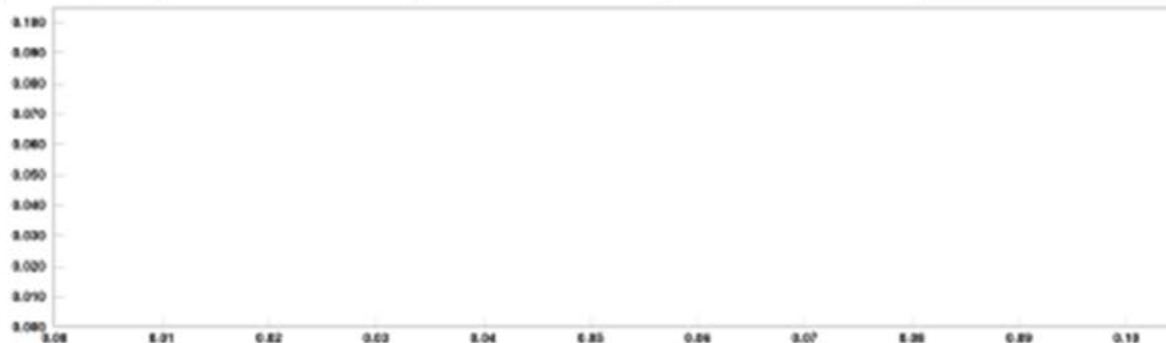
Transformer - Exciting Current Tests																		
Connections:			Phase A: Enter connection					Phase B: Enter connection					Phase C: Enter connection					
	DETC	LTC	TEST kV	LIQ / C (pF)	mA	Equivalent @ 10 kV mA Watts	TEST kV	LIQ / C (pF)	mA	Equivalent @ 10 kV mA Watts	TEST kV	LIQ / C (pF)	mA	Equivalent @ 10 kV mA Watts	IR			
1																		
2																		
3																		

POWER TRANSFORMER TESTS



PAGE _____

Polarization Index						
Test Voltage:				Settings:		
High to Low + Ground		KVDC		JIS Instrument PI / DAR Value <input type="checkbox"/>		Cone/Coil Temperature: _____ °C
Low to High + Ground		KVDC		Enter TCF Manually: <input type="checkbox"/>		Dry: _____ Liquid: _____
Minutes	High to Low + Ground		Low to High + Ground		Tertiary to Low + Ground	
	Reading (megohms)	Corrected Value (megohms)	Reading (megohms)	Corrected Value (megohms)	Reading (megohms)	Corrected Value (megohms)
0.25						
0.50						
0.75						
1.00						
2.00						
3.00						
4.00						
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						
9.00						
10.00						
P.I.						
D.A.R.						



High Voltage Winding Resistance								Unit: Ohms	
#	Tap	Current (Amps)	Voltage	Measured Resistance			Reading Stability %	Winding Difference %	Make/Break
				H ₁ - H ₂	H ₂ - H ₃	H ₃ - H ₄			
1	1		0						
2	2		0						
3	Nominal		0						
4	4		0						
5	5		0						

POWER TRANSFORMER TESTS



Page

Low Voltage Winding Resistance								Order	Unit
								Correction Factor	
#	Tap	Current (Amps)	Voltage	Measured Resistance			Reading Stability %	Winding Difference %	Notes/Find
				$R_{11} - R_{22}$	$R_{21} - R_{12}$	$R_{12} - R_{21}$			
1	Normal		0						



Transformer - Inspection					
Description	Condition	Note	Description	Condition	Note
Compare Nameplate To Open			Verify Alarm, Control, Trip Operate		
Physical/Mechanical Inspection			Verify Cooling Fan/Pump Operation		
Inspect Fan/Blower			Inspect Connections - Grounding		
Turn On/Off			Inspect Connections - Torque		
Recharge, Alignment, Grounding			Inspect Connections - Oil Supply		
PCB Content Labeling			Verify Liquid Levels - Tank/Fuel		
Remove Shipping Braces			Verify Tank Positive Pressure		
Overdrive in/Overhaul Tank			Verify Presence of Surge Indicators		
Overdrive in/Overhaul			Verify Oil Level Tap Position as Spec		
Verify Name, Control, Trip Settings			Verify		

Transformer - Gages					
Description	Reading	Note	Description	Reading	Note
Winding Temperature			Control Level Oil TC		
Winding/Oil Temperature			Control Level Oil		
Control Temperature			High Tank Pressure PSI		
Condensate Temperature			Low Tank Pressure PSI		
Condensate Rate			Verify		

Comments:

Remarks:

Job Aid – J5 – Trafo, Minyak ($\geq 5000\text{kVA}$)

	TWO-WINDING TRANSFORMER	
CUSTOMER <u>SAMPLE FORMS COMPANY</u>		PAGE _____
ADDRESS _____		JOB # <u>FORMS-ALL</u>
USER <u>SAMPLE FORMS COMPANY</u>		
OWNER REPRESENTATIVE _____		TELEPHONE _____
DATE <u>5/7/2008</u>	TEMPERATURE _____ °F	HUMIDITY _____ %
EQPT. LOCATION _____		
SUBSTATION <u>TRANSFORMERS</u>		POSITION <u>GENERAL</u>

NAMEPLATE DATA

MANUFACTURER _____ YR MFR _____ SERIAL NO. _____

IMPEDANCE _____ % CAPACITY _____ GALLONS TYPE _____ CATALOG NUMBER _____

KVA _____ / _____ / _____ CLASS ☐ OA ☐ FA ☐ FOA ☐ FOW ☐ OW ☐ FOW ☐

	VOLTS	CONNECTIONS	WINDING MATERIAL
PRIMARY	/	<input checked="" type="radio"/> DELTA <input type="radio"/> WYE <input type="radio"/> SINGLE PHASE	<input type="radio"/> ALUMINUM <input type="radio"/> COPPER
SECONDARY	/ 0	<input type="radio"/> DELTA <input checked="" type="radio"/> WYE <input type="radio"/> SINGLE PHASE	<input type="radio"/> ALUMINUM <input type="radio"/> COPPER

TAP VOLTAGES _____

TAP POSITION _____

TAP POSITION LEFT _____ / _____ (☐ VOLTS ☐ PERCENT)

MEDIUM TYPE ☐ SILICONE ☐ OIL ☐ AIR ☐ PCB ☐ RTEMP ☐ WESCOL ☐ GAS _____

INSULATING MEDIUM ☐ LIQUID-FILLED ☐ GAS-FILLED ☐ AIR FIELD SAMPLE ☐ YES ☐ NO

PRESSURE _____ ☐ PSI ☐ _____ MEDIUM LEVEL _____ CAPACITY ☐ GALLONS ☐ _____

TEMPERATURE RISE _____ °C MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR _____ °C

TEMPERATURE GAUGE _____ °C MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR RESET TO _____ °C

WINDING TEMPERATURE _____ °C FAN SET TO _____ °C

ENVIRONMENTAL DATA

WEATHER CONDITIONS _____ AMBIENT TEMPERATURE _____ HUMIDITY _____ %

LOCATED ON ☐ POLE ☐ PAD ☐ INDOOR ☐ OUTDOOR

VISUAL INSPECTION

FANS	<input type="checkbox"/> GOOD <input type="checkbox"/> FAIR <input type="checkbox"/> POOR	EXPLAIN: _____
CONTROLS	<input type="checkbox"/> GOOD <input type="checkbox"/> FAIR <input type="checkbox"/> POOR	EXPLAIN: _____
CONTROL VOLTAGE _____ VOLTS		
PAINT	<input type="checkbox"/> GOOD <input type="checkbox"/> FAIR <input type="checkbox"/> POOR	EXPLAIN: _____
CONNECTIONS	<input type="checkbox"/> GOOD <input type="checkbox"/> FAIR <input type="checkbox"/> POOR	EXPLAIN: _____
GROUNDING	<input type="checkbox"/> GOOD <input type="checkbox"/> FAIR <input type="checkbox"/> POOR	EXPLAIN: _____
LEAKS	<input type="checkbox"/> LIQUID <input type="checkbox"/> GAS <input type="checkbox"/> AIR <input type="checkbox"/> NONE DETECTED <input type="checkbox"/> YES	DESCRIBE: _____
DESCRIBE OPERATING ENVIRONMENT _____		