

Filterisasi Minyak Transformator Untuk Peningkatan Kualitas di Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Bandung Barat

ADIT SAHWARA¹, NASRUN HARIYANTO²

Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : sahwaraadit98@gmail.com

Received DD MM YYYY / Revised DD MM YYYY / Accepted DD MM YYYY

ABSTRAK

Transformator dilakukan untuk menjaga efektivitas dan daya tahan peralatan sistem tenaga listrik, khususnya transformator agar dapat bekerja sebagaimana mestinya sehingga kontinuitas penyaluran tetap terjaga dengan baik. Proses filterisasi dilakukan untuk mengurangi kandungan gas - gas yang dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator. Tujuan filterisasi minyak transformator dilakukan untuk menjaga efektivitas dan daya tahan peralatan sistem tenaga listrik, khususnya transformator daya agar dapat bekerja sebagaimana mestinya sehingga kontinuitas penyaluran tetap terjaga dengan baik. Proses filterisasi dilakukan untuk mengurangi kandungan gas - gas yang dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator. Rekomendasi dilakukan penggantian minyak trafo dan dilakukan perhitungan menggunakan metode markov untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Kemajuan Teknologi dan sangat pentingnya peranan tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan Pelanggan, menuntut Perusahaan Listrik Negara (PLN) selalu berusaha Meningkatkan Mutu dan Keandalan dalam Pendistribusian Energi Listrik ke pelanggan yang dituangkan dalam bentuk pemeliharaan trafo secara teratur sehingga tidak terjadi kerusakan yang mengakibatkan terjadinya pemadaman dan kerugian.

Kata Kunci : Filterisasi, Minyak Transformator, Gangguan Transformator, Pemeliharaan.

ABSTRACT

Transformers are carried out to maintain the effectiveness and durability of electrical power system equipment, especially transformers so that they can work properly so that distribution continuity is maintained properly. The filtering process is carried out to reduce the content of gases that can cause damage to the transformer. The purpose of filtering transformer oil is to maintain the effectiveness and durability of electrical power system equipment, especially power transformers so that they can work properly so that distribution continuity is maintained properly. The filtering process is carried out to reduce the content of gases that can cause damage to the transformer. The recommendation is to replace the transformer oil and calculate using the Markov method to get more accurate results. Technological advances and the very important role of electric power to meet customer needs, demand that the State Electricity Company (PLN) always strives to improve the quality and reliability in the distribution of electrical energy to customers as outlined in the form of regular transformer maintenance so that there is no damage resulting in blackouts and losses.

Keywords: Filtering, Transformer Oil, Transformer Trouble, Maintenance.

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen yang relatif paling mahal dari segi harga dan kritis peranannya dalam sistem tenaga listrik. Kegagalan trafo akan menyebabkan sejumlah kerugian bagi industri kelistrikan, termasuk kerugian ekonomi selama gangguan akibat terhentinya pasokan aliran listrik (**X. Wabg & Z.D Wang, 2008**).

PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Bandung Barat (ULTG) merupakan bagian dari unit kerja yang mengemban tugas melaksanakan penyediaan dan pelayanan tenaga listrik di Kota Bandung. Sebagai sumber kebutuhan energi listrik semakin penting mengingat keterbatasan sumber energi primer disamping usaha diversitas energi. Beban listrik terus bervariasi seperti misalnya beban penerangan, peralatan listrik, atau motor-motor listrik. Perubahan sebuah beban mungkin relative kecil dibandingkan sistem tenaga listrik secara keseluruhan tetapi setiap kali beban bertambah atau berkurang harus diikuti dengan perubahan daya pada penggerak awal generator. Jika daya mekanik pada poros penggerak awal tidak dengan segera menyesuaikan dengan besarnya beban listrik maka frekuensi dan tegangan akan bergeser dari posisi normal. Keadaan yang lebih buruk dapat terjadi apabila ada pada sistem seperti pada saluran transmisi/Sistem Distribusinya, hilangnya pembangkitan atau beban yang besar. Adanya peralatan kontrol seperti governor pada turbin dan regulator tegangan diharapkan dapat mengembalikan tegangan dan frekuensi ke posisi normal atau masih dalam batas-batas yang dapat diterima. Namun demikian pada umumnya terjadi osilasi di sekitar posisi akhir. Pada sebagian besar kasus osilasi ini akan teredam dan sistem kembali menjadi stabil. Apabila terjadi ketidakstabilan dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya pada sebagian atau bahkan ke seluruh konsumen (**PT.PLN,2009**).

Tujuan kegiatan ini untuk menunjang proses penyaluran tenaga listrik, perlu dilakukan perawatan dan pemeliharaan pada peralatan yang ada pada ULTG Bandung Barat. Pada ULTG Bandung Barat, trafo merupakan hal yang sangat vital dalam kelangsungan pasokan listrik, dalam hal ini peran Transformer yang berfungsi untuk merubah tegangan, menurunkan dan menaikkan tegangan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Transformator

Transformator adalah komponen elektromagnet yang dapat merubah tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya dalam frekuensi sama. Trafo merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti). Agar dapat berfungsi dengan baik, maka trafo harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat. Trafo dapat dibedakan berdasarkan tenaganya, trafo 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut trafo Interbus Transformator (IBT) dan trafo 150/20 kV dan 70/20 kV disebut trafo distribusi. Trafo pada umumnya ditanahkan pada titik netral sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh trafo 150/20 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan trafo 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV (**Zuhal, 1998**).

Sebuah transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan, kawat yang terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan transformator, kumparan kawat terisolasi ini, dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan inti besi (*Core*). Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik)

maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan medan magnet (densitas fluks magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan *primer* akan menginduksi GGL (gaya Gerak Listrik) dalam kumparan *sekunder* dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian terjadilah pengubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi lebih rendah (**Winders, Jr, 2002**).

2.2 Tujuan Pemeliharaan Trafo

Memaksimalkan pengelolaan trafo terutama sarana penunjang trafo agar layanan terhadap konsumen dan performansi trafo secara keseluruhan dapat terjaga dengan baik. mengurangi biaya perbaikan dan penggantian trafo akibat kerusakan pada komponen trafo.

2.3 Teknis Pemeliharaan Trafo

Trafo merupakan peralatan atau komponen yang sangat penting dalam mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen dengan interkoneksi menggunakan jaringan distribusi. Pemeliharaan yang teratur, bermanfaat tidak terjadinya pemadaman terhadap kerusakan trafo, penggunaan yang baik dari trafo distribusi akan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik sehingga kontinuitas pelayanan listrik ke konsumen terjamin.

Dengan memberi pemeliharaan khusus ke trafo maka kondisi trafo akan memberi keuntungan yang di dapat antara lain :

- Meningkatkan kemampuan dari trafo.
- Memperpanjang masa pakai trafo.
- Jika masa pakai lebih panjang, maka secara otomatis akan dapat menghemat biaya penggantian trafo.

1. Pemeliharaan Trafo 1 Hari

Ada beberapa pemeliharaan trafo yang perlu dilakukan setiap hari sebagai berikut :

- Selalu periksa *Magnetic Oil Gauge* (MOG) dari tangka utama dan tangki konservatori. Pastikan *Magnetic Oil Gauge* berada pada level yang tepat.
- Cek silika gel dan ganti jika warnanya sudah berubah.
- Periksa trafo dan jika terjadi kebocoran segera tutup.

2. Pemeliharaan Trafo 1 Bulan

Ada beberapa pemeliharaan trafo yang perlu dilakukan setiap 1 bulan sebagai berikut:

- Periksa level minyak dalam tutupnya agar tidak turun dibawah batas yang disarankan. Proses ini berguna untuk mencegah kerusakan trafo.
- Periksa kebersihan silika gel untuk menjaga 'pernapasan' di silika gel.
- Jika terdapat oil filling bushing pada trafo, pastikan selalu oil didalamnya berada di level yang benar. Proses ini sangat penting dan perlu dilakukan secara berkala setiap bulannya.

3. Pemeliharaan Trafo 6 Bulan

Ada beberapa pemeliharaan trafo yang perlu dilakukan setiap 6 bulan sebagai berikut :

- Pemeliharaan pada bagian oli transformator perlu diperhatikan kekuatan dielektriknya, kadar air, kadar asam, kandungan lumpur, titik nyala, warna, breakdown voltage, Ift, dan tingkat resistivitasnya .

4. Pemeliharaan Trafo 1 Tahun

Ada beberapa pemeliharaan trafo yang perlu dilakukan setiap 1 tahun sebagai berikut :

- Memeriksa kipas udara dan pompa oli yang berguna untuk mendinginkan trafo dan sirkuit control.
- Membersihkan area bushing trafo dengan menggunakan kain lembut.
- Periksa kondisi minyak OLTC. Cara ini bisa dilakukan dengan mengambil sampel dari katup pembuangan. Kemudian uji kadar air dan kekuatan dielektriknya. Jika kekuatan dielektriknya rendah sementara kadar airnya tinggi, maka minyak OLTC perlu segera diganti.
- Inspeksi relay Buchholz
- Bersihkan semua kotak Marshalling dari dalam. Periksa juga penerangan dan pemanas ruangan apakah berfungsi dengan baik atau tidak. Kemudian, periksa koneksi terminal kontrol dan kabel relay serta kencangkan setiap setahun sekali.
- Periksa area sakelar kontrol, Alarm dan relay beserta sirkuitnya. Bersihkan area tersebut dengan tepat.
- Periksa indikator suhu dan pastikan berfungsi dengan benar
- Periksa resistansi isolasi dan indeks polarisasi transformator dengan megger Faktor penyebab trafo distribusi slip atau timbulnya drop tegangan, diantaranya:
 - Arus beban puncak (Ampere)
 - Tahanan saluran (Ω/km)
 - Panjang saluran (km)

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Pengujian Metode Filterisasi

Trafo digunakan secara terus menerus sehingga performa atau kualitas oli akan mengalami penurunan secara fisik, elektrik atau komposisi kimia. Banyak hal yang menyebabkan kualitas oli turun, diantaranya oksidasi antara oli dengan bahan isolasi kawat. Adanya kontaminasi oli dengan udara, debu, gas maupun kotoran lain juga bisa. Untuk itu, diperlukan proses untuk memperbaiki kualitas oli yang disebut dengan purifikasi. Purifikasi merupakan treatment yang dilakukan dengan cara disirkulasi untuk proses pemurnian oli trafo dengan menggunakan alat *High Vacuum Oil Purifier* (PT.PLN,2009).

Pada gambar di bawah adalah alat untuk proses purifikasi minyak transformator dengan cara mengalirkan minyak transformator ke alat *High Vacuum Oil Purifier*.



Gambar 1. *High Vacuum Oil Purifier*

1. Fungsi Purifikasi Oli Trafo

Purifikasi merupakan bentuk pemurnian oli trafo. Kegunaannya sangat beragam dan berpengaruh besar. Fungsi dari proses pemurnian oli yang bekerja pada trafo yaitu sebagai berikut :

- Menghilangkan kandungan uap air
- Membersihkan kotoran-kotoran yang tercampur pada oli seperti karbon, debu, sedimendan unsur partikel lain
- Meningkatkan tegangan tembus agar setelah di treatment sesuai dengan standar PLN No.49/1982 dan metode IEC 158 & 296 yaitu minimal 50 KV / 2,5 mm
- Mengoptimalkan kerja memperpanjang usia trafo

2. Metode Purifikasi Oli Trafo

Secara garis besar, cara kerja purifikasi oli ini adalah mensirkulasikan oli yang akan dipurifikasi. Prosesnya dengan cara oli disedot kedalam alat purifikasi untuk dimurnikan.

Kemudian oli yang sudah bersih tersebut dipompa untuk dimasukkan lagi kedalam transformator. Metode proses pemurnian oli trafo dapat dilaksanakan dengan dua cara, yaitu :

1) Metode off line

Treatment ini dilakukan ketika trafo sedang tidak bekerja atau trafo diputus aliran listriknya.

2) Metode on line

Treatment dengan cara on line dilakukan ketika trafo dalam keadaan sedang bekerja (masih ada aliran listrik).

3. Tahapan Purifikasi Oli Trafo

Ada beberapa tahap yang harus dilalui saat melakukan purifikasi terhadap oli trafo. Oli trafo akan murni jika tahapan ini bisa urut. Berikut tahapannya:

1) Pemanasan

Oli trafo dipanaskan secara terus menerus dengan temperature yang konstan. Proses ini dilakukan untuk memisahkan air dan minyak. Ketika dipanaskan, air akan berubah menjadi uap sedangkan oli tetap pada komposisi semula. Pemanasan ini juga dapat menguraikan asam yang terkandung dalam oli tersebut.

2) Pengkabutan

Setelah melalui proses pemanasan, maka oli trafo di kabutkan untuk memisahkan antara oli dan uap air. Kemudian dilakukan pemvakuman dengan tekanan 0,8 bar untuk memisahkan kandungan asam.

3) Penyaringan

Pada proses ini, oli trafo yang telah mengalami proses pengkabutan disaring dan dipadatkan. Proses pemadatan untuk mencegah gelembung udara. Kemudian, oli yang sudah bersih disalurkan lagi kedalam trafo.

4. Peralatan Utama Untuk Purifikasi Oli Trafo

Ada beberapa peralatan yang digunakan untuk pemurnian oli trafo. Alatnya sangat beragam dan tidak boleh ada yang terlewat. Beberapa komponen utama yang terdapat dalam mesin purifikasi yaitu:

1) Tabung vakum

Di tabung ini berisi heater atau alat pemanas untuk memanaskan oli sehingga kontaminan seperti air dan gelembung gas akan menguap.

2) Indikator permukaan minyak dalam tabung vakum

Indikator ini berupa sensor infrared yang ditembakkan dari satu ujung tabung ke ujung tabung yang lain, yang berfungsi sebagai pengatur ketinggian permukaan minyak dalam

tabung vakum.

3) Filter

Filter berfungsi untuk menyaring oli dari kontaminan pada oli trafo yang sudah dipanaskan. Sehingga oli dapat mempercepat tegangan tembus.

4) Motor vakum

Motor vakum digunakan untuk memvakumkan atau menyedot udara keluar dari tabung vakum.

5) Motor induksi 3 fasa

Motor ini berfungsi untuk menyedot oli memasuki alat purifikasi dan memompa oli yang sudah bersih ke transformator.

5. Durasi Dan Banyaknya Sirkulasi Pada Purifikasi Oli Trafo

Proses purifikasi terhadap oli trafo dilakukan secara berulang-ulang. Menurut standar PLN pada manual book product trafo, proses purifikasi untuk oli yang masih baru hanya membutuhkan 2-3 sirkulasi. Sedangkan untuk minyak yang sudah lama membutuhkan 4-6 sirkulasi. Lamanya proses purifikasi tergantung pada kapasitas oli pada trafo. Satu liter oli membutuhkan waktu ± 17 menit untuk satu kali sirkulasi. Sehingga untuk oli yang masih baru memerlukan waktu purifikasi sekitar $\pm (34-51)$ menit dan untuk oli yang sudah lama memerlukan waktu $\pm (68-102)$ menit **Heliana, 2009).**

3.2 Proses Pemurnian Minyak Transformator

Pada gambar di bawah adalah pengambilan minyak transformator untuk proses pemurnian minyak transformator menggunakan alat High Vacuum Oil Purifier.



Gambar 2. Proses Pemurnian

Purifikasi minyak trafo merupakan suatu proses pemurnian minyak trafo melalui alat yang disebut High Vacuum Oil Purifier dengan cara menghilangkan atau mengurangi kontaminasi fisik berupa kontaminasi partikel-partikel, kandungan air, kandungan gas, dan lain-lain. Merujuk pada ketiga kontaminan, pemurnian minyak trafo umumnya melaluitahapan.

- Filtrasi (penyaringan minyak)
- De-humidifikasi (penghilangan kelembaban), dan
- De-gasifikasi (penghilangan gas terlarut)

Jika dipersempit lagi, maka proses purifikasi minyak trafo adalah gabungan dari dua proses, yaitu proses filtrasi dan proses vakum, filtrasi untuk menyaring partikel-partikel yang $> 0,2$ mikron, sedangkan proses vakum untuk menghilangkan sebagian besar air terlarut dan melenyapkan kandungan gas dalam minyak trafo. Proses sederhana ini, biasanya cukup untuk memperbaiki tegangan tembus listrik yang rendah (yang disebabkan oleh kombinasi partikel dan kandungan air yang tinggi). Purifikasi

Filterisasi Minyak Transformator Untuk Peningkatan Kualitas di Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Bandung Barat

minyak trafo dapat dilakukan secara on-line (ketika trafo sedang beroperasi), maupun ketika trafo dalam keadaan off-line (tidak beroperasi).

Pada gambar di bawah adalah transformator yang digunakan untuk filterisasi.



Gambar 3. Transformator

Sebagai berikut hasil data pengujian minyak trafo sebelum dan sesudah di filter :

Tabel 1. Hasil pengujian sebelum di filter

No.	Pengujian	Nilai	Klasifikasi kondisi
1	Kadar Air (ppm)	8.45	Baik
2	Kadar Asam (mgKOH/g)	-	-
3	Warna (G.S)	0.6	Baik
4	Breakdown Voltage (kV)	100.10	Baik
5	IFT (N/cm)	33.40	Baik
Hasil Pengujian Karakteristik		Baik	
Analisa Hidrolisis		Tidak ada hasil hidrolisis karena tidak ada nilai hasil uji asam	
Analisa Ketahanan Dielektrik		Tidak terjadi kontaminasi	

Tabel 2. Hasil pengujian setelah di filter

No.	Pengujian	Nilai	Klasifikasi kondisi
1	Kadar Air (ppm)	13.57	Baik
2	Kadar Asam (mgKOH/g)	-	-
3	Warna (G.S)	0.6	Baik
4	Breakdown Voltage (kV)	99.80	Baik
5	IFT (N/cm)	33.40	Baik
Hasil Pengujian Karakteristik		Baik	
Analisa Hidrolisis		Tidak ada hasil hidrolisis karena tidak ada nilai hasil uji asam	
Analisa Ketahanan Dielektrik		Tidak terjadi kontaminasi	

Terjadi nilai perubahan pada Kadar Air (ppm) sebelum pengujian dengan nilai 8.45 dan setelah pengujian nilai menjadi 13.57 terjadi perubahan karena proses filter pada minyak trafo dan pada Breakdown Voltage (kV) pada sebelum di filter dan sesudah di filter kondisi fungsi dari minyak trafo adalah sebagai media isolasi pada trafo sehingga minyak trafo harus dalam kondisi yang jernih dan bersih dari kelarutan air, kelarutan air pada minyak trafo dapat menurunkan kualitas minyak trafo akibatnya trafo akan mengalami kegagalan isolasi sehingga akan timbul panas berlebih yang mengakibatkan penguapan pada minyak trafo sehingga terbentuk senyawa – senyawa gas atau kegagalan gas (gas fault) pada minyak trafo. Temperatur trafo pada saat pengukuran bernilai 62°. Hasil Pengujian menunjukkan standart tidak terjadi perubahan yang membuat trafo bisa di fungsi kan kembali dengan hasil yang baik. Pengujian nilai relatif saturasi trafo menggunakan Mulai Selesai Studi literatur Perijinan penelitian Pengambilan data di gardu induk, hasil pengujian Nilai kelarutan air, DGA (*Dissolve Gas Analysis*), Perhitungan nilai kelarutan air dan relatif saturasi, Mengidentifikasi kandungan gas terlarut minyak trafo metode pengujian filter pada minyak trafo sehingga dapat diketahui nilai ppm air minyak trafo pada suhu tertentu berdasarkan IEC 60422 tahun 2013.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data yang di dapat pada Pemeliharaan Trafo di ULTG Bandung Barat dalam kegiatan kerja praktek ini, dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

Proses filterisasi dilakukan karena kandungan minyak transformator berada pada kondisi yang dapat mengakibatkan kerusakan transformator. Proses filterisasi ini bertujuan mengurangi kandungan gas yang berbahaya dengan cara minyak transformator di panaskan sampai titik didih air. Setelah proses filterisasi selesai barulah dilakukan pengecekankandungan gas pada transformator.

Hasil perhitungan umur minyak trafo menunjukkan selisih sisa usia efektif pada minyak sebelum dilakukan filterisasi dalam kaitannya umur minyak transformator hasil perhitungan menunjukan sisa usia efektif minyak sebelum filterisasi sebesar 2 tahun 2 bulan 12 hari, sedangkan pada minyak sesudah filterisasi sebesar 39 tahun 7 bulan 21 hari. Hal ini di dasarkan pada kondisi minyak trafo sesudah di lakukan filterisasi yang sudah berada pada batas kondisi aman sesuai IEEE.

Pada proses pemurnian minyak trafo ada dua hal utama, yaitu :

A. Filter Press (Penyaringan)

Memisahkan Minyak trafo dengan butiran – butiran pengotor.

B. Heating

Memisahkan minyak trafo dengan butiran – butiran air.

Mesin purifikasi yang digunakan mampu mensirkulasikan 1000 liter minyak dalam waktu ± 1 jam dengan kecepatan putar motor ± 19 rpm dan derajat pemanasan sebesar $\pm 70^{\circ}$.

Filter minyak trafo dilakukan agar kualitas minyak transformator tetap terjaga dengan baik sehingga tidak menimbulkan gangguan yang disebabkan oleh kandungan gas yang terlarut dalam minyak (Dissolved Gas Analysis) yang mana dapat mempengaruhi besarnya nilai tahanan isolasi minyak, dan meningkatkan kadar keasaman sehingga dapat merusak isolasi kertas.

Minyak transformator merupakan bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak transformator diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Transformator yang memindahkan tenaga listrik antar dua rangkaian listrik atau lebih melalui induksi elektromagnetik. Trafo bekerja berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan gaya gerak listrik (ggl) dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

DAFTAR PUSTAKA

- Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik Transformator Tenaga.* (2009). PT PLN (Persero).
- Heliana Yanti, dkk. (2009). *Studi Perawatan Minyak Transformator Tenaga.* Bandung. Teknik Elektro. Universitas Pendidikan Indonesia.
- M.T, Ishak, Z.Wang. (2008). *Transformer Hotspot Temperature Calculation using IEEE Loading Guide.* IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis.
- Suhadi, dkk. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 untuk SMK.* Jakarta. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional.
- Wang.X. (2008). *Partial Discharge Behaviours and Breakdown Mechanisms of Ester Transformer Liquids under AC Stress.* Manchester, UK.
- Winders, John J. Willis H. Lee. (2002). *Power Transformers Principles and Applications.* United States of America : Marcel Dekker, inc.
- Zuhal. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya.* Jakarta : Penerbit PT. GramediaPustaka Utama, 1998.