

SISTEM MAINTENANCE TRANSFORMATOR 60 MVA PADA ELECTRIC ARC FURNACE (EAF) 7 SLAB STEEL PLANT 1

Irwanto

Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan
Ageng Tirtayasa, Jl. Raya Ciwaru, No. 20 Kota Serang, Indonesia.

irwanto.ir@untirta.ac.id

Abstrak.

Preventive Maintenance adalah setiap kegiatan yang dilakukan untuk menjaga setiap alat komponen berjalan sesuai dengan kondisi yang diharapkan, melalui pemeriksaan, deteksi dan pencegahan kerusakan total yang tiba-tiba (breakdown). Breakdown voltage atau jatuh tegangan dioda adalah nilai tegangan minimal pada dioda untuk dapat mengalirkan arus listrik. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengumpulan data melalui dengan cara: (1) pengamatan langsung (2) Pengambilan data dengan menggunakan alat Magger (3) studi pustaka. Hasil penelitian menyatakan bahwa dalam pemeriksaan dan analisa kandungan gas terlarut (dissolved gas analysis, DGA), untuk mencegah terjadinya: (partial) discharges, Kegagalan thermal (thermal faults), Deteriorasi /pemburukan kertas isolasi/laminasi. Tahanan Isolasi adalah pengujian untuk melihat kekuatan isolasi terhadap kerusakan Fisik dan Kimiawi. Kerusakan yang sering terjadi pada trafo EAF 7 adalah tegangan tembus dan trafo overheat karna suhu ruangan tidak dingin diakibatkan trafo dekat dengan tempat pemasakan atau peleburan besi.

Kata kunci. BDV, DGA, tahanan isolasi, maintenance, transformator

Abstract.

Preventive Maintenance is every activity undertaken to keep each component tool running in accordance with the expected conditions, through inspection, detection and prevention of total damage that is sudden (breakdown). Breakdown voltage or diode voltage drop is the minimum voltage value at the diode to be able to flow electric current. The research method used is qualitative research with a descriptive approach. In this study, the authors conducted data collection through: (1) direct observation (2) Retrieval of data using the Magger tool (3) literature study. The results of the study stated that in the examination and analysis of dissolved gas content (Dissolved gas analysis, DGA), to prevent the occurrence of: (partial) discharges, thermal failure (thermal faults), deterioration/deterioration of paper insulation/lamination. Insulation Resistance is a test to see the strength of insulation against physical and chemical damage. Damage that often occurs in the EAF 7 transformer is a breakdown voltage and an overheat transformer because the room temperature is not cold due to the transformer close to the cooking place or iron melting.

Keywords. BDV, DGA, insulation resistance, maintenance, transformer

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang begitu pesat saat ini, telah menuntut untuk mengikuti perkembangan tersebut tanpa terkecuali. Ada begitu banyak yang menandakan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tersebut, antara lain perkembangan industri yang begitu pesat. Industri tersebut membutuhkan tenaga ahli yang benar-benar profesional dan berdedikasi tinggi. Artinya, dalam situasi yang bagaimanapun dalam dunia industri yang nyata, seorang lulusan-lulusan perguruan tinggi dituntut untuk dapat menemukan solusi alternatif dari masalah yang ditemui (Hanif, M., Urip, M, 2015). Transformator atau trafo sangat berperan penting dalam jaringan distribusi untuk menyalurkan tenaga listrik. Fungsi dari transformator ini adalah untuk mengubah energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Data beban puncak listrik adalah data beban pemakaian energi listrik maksimal yang tercatat berdasarkan waktu yaitu, harian, mingguan, maupun bulanan. Beban puncak ini biasanya terjadi pada pukul 17.00 – 22.00. Beban puncak terjadi ketika kebutuhan listrik konsumen menanjak ke titik yang paling tinggi di satu waktu tertentu, baik dalam rentang waktu jam, hari, minggu, bulan, hingga tahun (Mujiman & Priyosusilo, L, 2012).

Salah satu komponen penting dalam proses produksi baja slab adalah stasiun Electric Arc Furnace. Komponen utama dalam proses produksi pada Electric Arc Furnace adalah transformator daya. Transformator daya pada Electric Arc Furnace berfungsi untuk menurunkan tegangan sumber sehingga diperoleh arus dengan nilai yang besar yang menyuplai kebutuhan daya elektroda peleburan. Adanya gangguan pada transformator Electric Arc Furnace dapat menghentikan proses produksi dari baja slab, oleh karena itu diperlukan suatu sistem maintenance service pada transformator EAF 7.

Transformator adalah apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) (Agung Aprianto, 2010). Pada dapur 7 terdapat transformator furnace berfungsi menyuplai energi listrik tiga fasa ke ketiga elektroda. Salah satu fitur penting yang ada di Transformator furnace adalah keberadaan tap changer di sisi lilitan primer. Adanya tap changer membuat Transformator mampu beroperasi pada daya listrik yang bervariasi. Dalam proses peleburan hal ini penting karena proses yang berlangsung membutuhkan spesifikasi daya listrik yang berbeda-beda.

Salah satu unsur pendukung keandalan pelayanan sistem tenaga listrik yaitu dengan adanya gardu induk. Transformator sebagai media perantara dalam menyalurkan tenaga listrik mempunyai batas kemampuan maksimal. Batas kemampuan maksimal pembebanan pada transformator didasarkan atas nilai pengenalan (rating) yang merupakan harga dalam keadaan operasi normal yang tidak boleh dilampaui. Tingkat keandalan yang tinggi suatu sistem tenaga listrik merupakan salah satu persyaratan yang penting dalam mencatu dan menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Peningkatan keandalan dan kualitas penyediaan tenaga listrik pada Gardu Induk 150 kV dilakukan dengan memilih dan memasang peralatan tenaga listrik termasuk transformator distribusi dengan kapasitas yang sesuai sehingga dapat mengikuti pertumbuhan beban di daerah pelayanannya. Jadi perlu adanya maintenance untuk transformator 60 MVA pada electric arc furnace tersebut.

Studi Pustaka

Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik statik yang berfungsi menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya (Agung Aprianto, 2010), atau dapat juga diartikan mengubah tegangan arus bolak-

balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh..

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi (input Impedance) antara sumber dan beban, untuk menghambat arus searah DC (Direct Current) dan melewatkan arus bolak-balik, dan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC. Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksielektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik, maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula, maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah dan memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan memanfaatkan prinsip induktansi elektromagnetik. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi. Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder. Gambar sederhana dari sebuah transformator dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media

pendingin dan isolasi. Di dalam sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif “membangkitkan” energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendinginan akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Untuk maksud pendinginan itu, kumparan dan inti dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak, yang dinamakan minyak transformator. Minyak itu mempunyai fungsi ganda, yaitu pendinginan dan isolasi. Fungsi isolasi ini mengakibatkan berbagai ukuran dapat diperkecil. Perlu dikemukakan bahwa minyak transformator harus memiliki mutu yang tinggi dan senantiasa berada dalam keadaan bersih. Disebabkan energi panas yang dibangkitkan dari inti maupun kumparan, suhu minyak akan naik. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan pada minyak transformator. Lagi pula dalam jangka panjang waktu yang lama akan terbentuk berbagai pengotoran yang akan menurunkan mutu minyak transformator. Hal-hal ini dapat mengakibatkan kemampuan pendinginan maupun isolasi minyak akan menurun. Selanjutnya dapat pula terjadi bahwa hawa lembab yang sebagaimana halnya terjadi di daerah tropis, mengakibatkan masuknya air didalam minyak transformator.

Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (mutual inductance). Pada skema transformator di bawah, ketika arus listrik dari sumber tegangan yang mengalir pada kumparan primer berbalik arah (berubah polaritasnya) medan magnet yang dihasilkan akan berubah arah sehingga arus listrik yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah polaritasnya (Tobing, 2003). Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

V_p = tegangan primer (volt)

V_s = tegangan sekunder (volt)

N_p = jumlah lilitan primer

N_s = jumlah lilitan sekunder

Jenis-Jenis Trafo

Ada beberapa jenis trafo yang dikenal dan digunakan secara luas di masyarakat, diantaranya adalah:

- 1. Trafo Daya

Adalah trafo yang biasa digunakan di GI baik itu GI Pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar. Di GI Pembangkit, trafo digunakan untuk menaikkan tegangan ke tegangan transmisi/tinggi (150/500kV sedangkan di GI Distribusi, trafo digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan primer/menengah (11,6/20kV).

- 2. Trafo Distribusi

Trafo distribusi adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (220/380V). Trafo ini tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya karena biasa dicantol ditiang, oleh karena itu, biasa juga disebut dengan gardu cantol.

3. Trafo Tegangan (Potensial Trafo)

Merupakan suatu trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran tegangan dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya. Selain itu bisa juga besaran tegangannya diambil sebagai input data masukan peralatan pengaman jaringan.

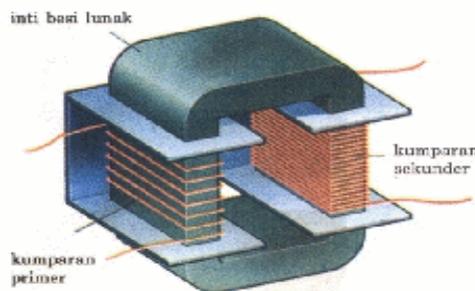
4. Trafo Arus (Current Trafo)

Trafo Arus adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran arus dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban arus yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya. Selain itu bisa juga besaran arusnya diambil sebagai input data masukan peralatan pengaman jaringan.

Komponen-komponen Utama Transformator

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current (Rendy, H. W., Soemarwanto., Hadi, S. 2013) seperti pada Gambar 2 di bawah ini.

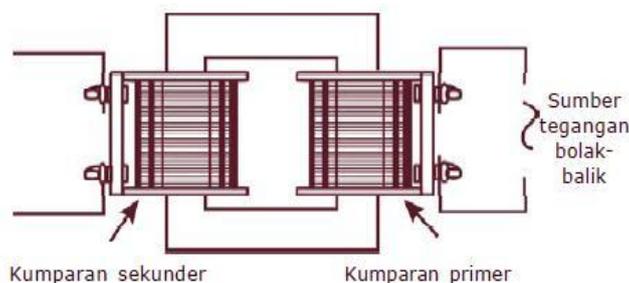


Gambar 2. Inti besi

(Sumber: Agung Aprianto, 2010)

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus (Anonim, 2014) seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Kumparan Transformator

(Sumber: <https://ridhounggul13.wordpress.com/2014/11/22/transformator/>)

3. Minyak Isolasi Transformator

Minyak isolasi pada trafo berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda (Anonim, 2014) yaitu (1) sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, dan (2) sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan. Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa tersebut, minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif meskipun kandungannya sangat kecil (Ibnu Surya Wardhana, 2010).

4. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank trafo (Anonim, 2014).

5. Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo yang ditempatkan di dalam tangki baja. Tangki trafo-trafo distribusi umumnya dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin (cooling fin) yang berfungsi memperluas permukaan dinding tangki, sehingga penyaluran panas minyak pada saat konveksi menjadi semakin baik dan efektif untuk menampung pemuaiannya minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator (Agung Aprianto, 2010).

6. Peralatan Bantu Pendinginan Transformator

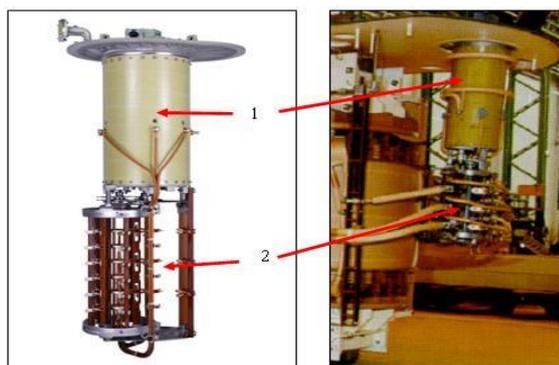
Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo, oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan (Anonim, 2014).

Tabel 1. Macam-macam pendingin pada trafo.

No	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Trafo		Diluar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paks	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paks
1	AN			Udara	
2	AF				Udara
3	ONAN	Minyak		Udara	
4	ONAF	Minyak			Udara
5	OFAN		Minyak	Udara	
6	OFAF		Minyak		Udara
7	OFWF		Minyak		Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

7. Tap Changer

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Trafo dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan sehingga dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/ sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya (Dimas, A. A., Soemarwanto., Hery, 2013). Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer (Agung Aprianto, 2010). Diverter switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap (Anonim, 2014).



Keterangan:

1. Kompartemen *Diverter Switch*
2. Selektor Switch

Gambar 4. OLTC pada Transformator

8. Alat pernapasan (*Dehydrating Breather*)

Sebagai tempat penampungan pemuaiian minyak isolasi akibat panas yang timbul, maka minyak ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai konservator (Rendy, K. P., Fri, M. 2017). Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara, karena kelembaban udara yang mengandung uap air akan mengkontaminasi minyak walaupun proses pengkontaminasinya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut, udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin memerlukan suatu media penghisap kelembaban, yang digunakan biasanya adalah silica gel. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan menghisap udara dari luar masuk kedalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembaban udara maka diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silica gel, yang secara khusus dirancang.

9. Indikator-indikator

a) *Thermometer/Temperature Gauge*

Alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat panas dari trafo, baik panasnya kumparan primer dan sekunder juga minyak trafonya. Thermometer ini bekerja atas dasar air raksa (mercuri/Hg) yang tersambung dengan tabung pemuaiian dan tersambung dengan jarum indikator derajat panas.

b) *Permukaan minyak/Level Gauge*

Alat ini berfungsi untuk penunjukan tinggi permukaan minyak yang ada pada konservator. Ada beberapa jenis penunjukan, seperti penunjukan langsung yaitu dengan cara memasang gelas penduga pada salah satu sisi konservator sehingga akan mudah mengetahui level minyak.

10. Current Carrying Circuit (Winding)

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.

Jenis-Jenis Pemeliharaan

Pemeliharaan Tidak Terencana (*Unscheduled Maintenance*)

Hanya ada satu jenis pemeliharaan tak terencana yaitu pemeliharaan darurat atau *breakdown/emergency*. Dikenal sebagai jenis pemeliharaan yang paling tua. Aktivitas pemeliharaan

jenis ini adalah mudah untuk dipahami semua orang. Jenis pemeliharaan ini mengizinkan peralatan-peralatan untuk beroperasi hingga rusak total (*fail*). Kegiatan ini tidak bisa ditentukan/direncanakan sebelumnya, maka aktivitas ini juga dikenal dengan sebutan *unschedule maintenance*. Ciri-ciri jenis pemeliharaan ini adalah alat-alat mesin dioperasikan sampai rusak dan ketika rusak barulah tenaga kerja dikerahkan untuk memperbaiki dengan cara ‘penggantian’ (Hermawan, Abdul, S., Irwan, I. 2011).

Pemeliharaan Terencana (*Scheduled Maintenance*)

Pemeliharaan Terencana adalah pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai rencana yang telah ditentukan. Pemeliharaan Terencana terdiri dari Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*), Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*) dan *Predictive Maintenance*.

1) Preventive Maintenance

Preventive Maintenance (PM) adalah deteksi dan tindakan secara cepat pada ketidaknormalan peralatan sebelum mengakibatkan kerusakan atau kerugian. Dua aktivitas dasar pada PM adalah: (1) Pengecekan berkala pada peralatan dan (2) Perbaikan secara terencana pada kerusakan. *Preventive Maintenance* adalah setiap kegiatan yang dilakukan untuk menjaga setiap alat/komponen berjalan sesuai dengan kondisi yang diharapkan, melalui pemeriksaan, deteksi dan pencegahan kerusakan total yang tiba-tiba (*breakdown*). Lalu mengapa semua peralatan (mesin) tidak dijalankan atau dioperasikan saja sampai rusak? kemudian baru diperbaiki. Jawabnya adalah bahwa kerusakan itu dapat terjadi kapan saja (*unpredictable*) bisa saja terjadi pada waktu yang sangat tidak menguntungkan, mungkin juga mengakibatkan timbulnya korban pada pekerjanya, membuat peralatan menjadi cepat haus, mengurangi produksi, dan yang jelas menjadikan biaya perbaikan relatif lebih mahal dibandingkan biaya pemeliharaan. Tetapi di lain pihak ada perusahaan-perusahaan yang terlalu khawatir dengan kegagalan-kegagalan, sehingga melakukan terlalu banyak kegiatan pemeliharaan. Hal ini menimbulkan masalah-masalah lain dan terjerumus ke dalam pemeliharaan yang berbiaya tinggi.

Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*), yaitu suatu kegiatan inspeksi secara periodik untuk mendeteksi adanya tanda-tanda gangguan yang akan mengakibatkan *breakdown* atau stop produksi, penurunan kondisi mesin atau alat-alat kelengkapannya. Pemeliharaan pencegahan ini dapat dijadikan sebagai sistem deteksi terhadap mesin atau alat sebelumnya terjadi gangguan yang akan mengakibatkan cacatnya hasil produksi serta kerugian lainnya yang ditimbulkan. Untuk *preventive maintenance* sendiri terbagi menjadi beberapa jenis kegiatan diantaranya sebagai berikut: (a) Inspeksi, yaitu kegiatan pemeliharaan secara periodik dengan melakukan pemeriksaan terhadap kondisi mesin dan komponen terkaitnya termasuk didalamnya kegiatan pelumasan dan penyetulan. (b) Lihat, Dengar, dan Rasakan, yaitu suatu kegiatan pemeliharaan dengan melakukan pemeriksaan kondisi mesin dan komponen terkaitnya dengan cara penglihatan, perasaan/*feeling* dan pendengaran. (c) Pemeliharaan jalan, yaitu kegiatan pemeliharaan yang bisa dilaksanakan tanpa menghentikan proses produksi atau kerja dari mesin dan peralatannya. (d) Penggantian komponen minor, yaitu kegiatan pemeliharaan yang berupa penggantian sebagian kecil komponen mesin dan peralatannya (Henry, P. 2010).

2) Corrective Maintenance

Pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Kegiatan *corrective maintenance* sendiri terbagi menjadi beberapa kegiatan diantaranya: (1) Reparasi minor, yaitu suatu kegiatan pemeliharaan berupa perbaikan-perbaikan kecil pada suatu mesin atau peralatan terkaitnya (yang tidak ditemukan ketika pemeriksaan), terutama untuk rencana jangka pendek yang mungkin timbul diantara pemeriksaan. (2) *Overhaul*, yaitu kegiatan pemeliharaan berupa penggantian

komponen mesin secara serentak atau keseluruhan (juga overhaul terencana misalnya overhaul tahunan atau dua tahunan, atau suatu perluasan kapasitas produksi).

3) Predictive Maintenance

Tipe pemeliharaan jenis ini lebih maju dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Ditandai dengan menggunakan teknik-teknik mutakhir (advance scientific techniques) termasuk statistik probabilitas untuk memaksimalkan waktu operasi dan menghilangkan pekerjaan-pekerjaan yang tidak perlu. Predictive Maintenance dipakai hanya pada sistem-sistem yang akan menimbulkan masalah-masalah serius jika terjadi kerusakan pada mesin atau pada proses-proses yang berbahaya (Didik Aribowo, 2011).

Metodologi Penelitian

Metode Pengumpulan Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Metode Literatur

Dimana dilakukan pengumpulan data dari berbagai referensi-referensi buku yang berhubungan dengan judul tulisan ini untuk mendapatkan dan mengetahui dasar-dasar teori yang ada hingga dapat menunjang dalam penulisan ini. studi pustaka yang dilakukan dengan cara menyusun suatu metode yang dilakukan dengan mengambil referensi yang dibutuhkan untuk menyusun laporan penelitian ini dimana suatu perpustakaan atau menggunakan jurnal dan buku-buku yang sesuai dengan judul laporan tersebut.

Metode Obsevasi

Dimana dilakukan pengumpulan data dan keterangan serta mengamati peralatan atau sistem yang ada secara langsung di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. Pengambilan data dengan menggunakan alat Magger yang merupakan suatu metode yang dilakukan menggunakan alat magger saat mengambil data BDV, DGA, dan tahanan isolasi di uji dengan sesuai apa yang akan di tes. pengamatan langsung proses Moulding yaitu suatu metode yang dilakukan dengan mengamati secara langsung proses Pengujian BDV, DGA, dan Uji Tahanan Isolasi yang kemudian penguji mencatat hasil yang didapat tersebut.

Metode Wawancara

Dimana dilakukan tanya jawab secara langsung dengan pihak-pihak dan staf yang bertanggung jawab di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.

Teknik Analisis Data

Setelah semua data diperoleh dianggap lengkap, kemudian dilakukan pengolahan data, selanjutnya data-data tersebut kemudian dianalisis menggunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada standar IEC 354.

Hasil, Pembahasan dan Analisa

Pengumpulan data dilakukan secara manual dengan cara pengetesan langsung menggunakan alat Magger. Data dikumpulkan dengan cara melakukan pengetesan 1-6 kali dengan tegangan yang berbeda untuk BDV (Break Down Voltage), Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya, dan dihitung kuantitasnya (dalam satuan Part Per Million – ppm) untuk DGA (Dissolved Gas Analysis), dan pada R-S-T masing-masing di ukur tahanan isolasinya dengan cara probe 1 pada Magger di hubungkan ke R/S/T dan probe 2 di hubungkan ke ground. Spesifikasi Trafo Furnace yang akan di ambil datanya adalah sebagai berikut: Transformator furnace yang digunakan pada EAF PT. Krakatau Steel menggunakan:

Tipe	: Transformator TPWP 8046
Daya	: 60 MVA
Frekuensi	: 50 Hz
Voltase primer	: 30 kV
Arus primer	: 1155 A
Tap changer	: OLTC (On Load Tap Changer)
Voltase sekunder	: 620-319 V
Tap	: 13 tap jenis 3 ARSG 702/1021
Arus sekunder	: 55,870 – 65,985 A
Koneksi primer	: Delta
Koneksi sekunder	: Delta
Cosphi	: 0.7

Setelah melakukan kegiatan Safety Talk, pada perbaikan di Ruang Substansion untuk memperbaiki Breaker dan Relay untuk trafo pada SSP 1. Berikut adalah dokumentasi pada saat mengunjungi Substansion di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Kegiatan perbaikan *breaker & relay* di ruang *substansion*

Pada saat itu peneliti mengunjungi ruangan distribusi 6 dan 7, untuk mengetahui distribusi dan transmisi pada SSP 1 dan menganalisa gambar single line diagram tersebut. Langkah berikutnya yang dilakukan adalah kegiatan Safety Talk untuk melihat satu minggu kemarin apakah ada terjadi kecelakaan kerja di SSP 1 pada Trafo EAF 7, berikut adalah dokumentasi pengambilan data pada Trafo EAF 7 seperti pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Trafo EAF 7

Setelah keruangan Trafo EAF 7, selanjutnya mengunjungi Ruang HMI (Human Monitoring Interface) atau ruangan yang memonitoring dan mengatur pemasakan/peleburan besi pada dapur EAF 7, di ruangan HMI ini juga mengatur Elektroda yang digunakan untuk melebur besi-besi agar menjadi cair. Ruang DR (Dusting Room) atau ruangan yang mengatur filterisasi atau pembuangan debu ke udara. Saat itu sedang dilakukannya perbaikan pada ruangan DR, karena kerusakan pada bagian filter udara yang tidak berfungsi atau mati.

Dari data di atas dapat dilihat spesifikasi dari Transformator di dapur EAF 7 yang dimana merupakan Trafo dengan daya sebesar 60 MVA dengan Voltase sebesar 30 Kv dan Arus Primer sebesar 1155 A. Proses peleburan besi dan pencetakan besi menjadi Slab Baja adalah dapat di paparkan proses peleburan besi dan pencetakan slab besi. Pertama adalah mempersiapkan bahan-bahan utama yang terlebih dahulu akan di lebur seperti Spons, biji besi, Scrap, dan kapur. Selanjutnya adalah pencampuran semua bahan di lebur menjadi satu. Setelah pencampuran bahan-bahan, selanjutnya adalah pemasakan pada Ladle dengan suhu di atas 1600°C selama kurang lebih 2 jam pemasakan. Setelah di lebur dan menjadi cairan besi, selanjutnya adalah pencetakan mejadi Slab. Sesudah di cetak menjadi Slab, dan di dinginkan, masuk pada proses pengecekan. Pengecekan disini agar slab-slab yang gagal cetak atau produksi, dapat di olah kembali atau di lebur kembali. Jika lolos dalam pengecekan sesuai setandar yang sudah di tentukan, maka masuk ke proses Finishing. Dari sini slab di amplas menggunakan mesin agar bercak-bercak atau sisi-sisi yang kelebihan bisa hilang dan juga agar slab terlihat bersih.

Adapun data pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Data Pengujian BDV (Break Down Voltage)

Minyak transformator yang 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. Ketika minyak tranformator sudah tidak layak atau bahkan 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, dalam minyak terjadi reaksi kimia dekomposisi dan polymerisasi yang akan menimbulkan endapan dalam minyak. Endapan ini tidak berpengaruh langsung terhadap di electric 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. Berikut Tabel 2 data pengetesan yang telah dilakukan di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk:

Tabel 2. Data Pengujian BDV pada EAF 7

FEEDER	LOKASI	SPEC.		MANUFACTURE	NO. SERI	TAHUN PEMBUATAN	TEST TEG. TEMBUS OLI	
		KAPASITAS	TEGANGAN				TANGGAL	HASIL
AN 06	EAF 7	60 MVA	30 KV	UNION	406436	1981	4/23/2018	Bottom: 77,68kV
								Upper: 75,4kV
								OLTC-R: 61,78kV
								OLTC-S: 63,7kV
								OLTC-T: 64,18kV

Dari pengambilan data di atas dapat disimpulkan bahwa dilihat pengujian BDV untuk lokasi EAF 7 dengan kode FEEDER AN 06, dengan spesifikasi: Kapasitas 60 MVA dan Tegangan 30 kV, manufakturnya UNION yang bernomor seri 406436 tahu pembuatan 1981 didapat hasil tes: tanggal tes 23 april 2020 dengan hasil untuk tegangan bawah 77,68 kV dan tegangan Atas 75,4 kV, untuk OLIC – R sebesar 61,78 kV, OLIC – S sebesar 63,7 kV, dan OLIC – T sebesar 64,18 kV yang dimana data ini menurut standar IEC-156 masih pada batas aman dan minyak masih baik digunakan untuk

jangka waktu 4 bulan kedepan, karena pencemaran minyak terutama disebabkan oleh proses oksida-si, 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 (*Hermetically Sealed*) dan diisi dengan nitrogen.
4. Tangki yang tertutup rapat dan diisi minyak sampai penuh (*Totally filled*). Pemeriksaan tegangan tembus minyak dianjurkan 3 tahun pertama setelah transformator dioperasikan dan tiap tahun untuk tahun-tahun berikutnya.

Jika hasil pemeriksaan laboratorium oli tersebut di bawah standar maka perlu dimurnikan kembali atau diganti dengan oli yang baru, karena pencemaran minyak terutama disebabkan oleh proses oksida-si, 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 (*Hermetically 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: (a) Minyak baru sebelum diolah 30 KV/ 2.5 mm. (b) Minyak yang telah diolah 50 KV/ 2.5 mm. (c) 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 oli tersebut di bawah standar maka perlu dimurnikan kembali atau diganti dengan oli yang baru.

2. Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis)

Analisis DGA dilakukan untuk mendeteksi kuantitas kandungan beberapa jenis gas spesifik dari sebuah sampel minyak. Sebenarnya pada kondisi normal terdapat juga gas-gas yang terlarut pada minyak, namun ketika terjadi kegagalan, maka akan menaikkan konsentrasi salah satu atau beberapa jenis gas tersebut. Komposisi kenaikan konsentrasi gas-gas tersebut sangat tergantung dari jenis kegagalan yang terjadi. Kuantitas/konsentrasi dari beberapa jenis gas yang terlarut pada sampel minyak diidentifikasi lalu dikaitkan dengan berbagai jenis kegagalan/ ketidaknormalan elektrik dan termal. Identifikasi ini selanjutnya akan berguna sebagai informasi mengenai kualitas kerja transformator. Parameter-parameter yang harus diperhatikan dari data adalah nilai konsentrasi berbagai jenis fault gas (hidrogen, metana, etana, etilen, asetilen, karbon monoksida dan karbon dioksida), jumlah kandungan air (moisture), nilai TDCG, dan temperatur minyak. Nilai konsentrasi gas, kandungan air dan TDCG diperoleh dari alat ukur, sedangkan temperature minyak diperoleh dari thermometer minyak yang berada di tangki transformator.

Untuk data DGA (Dissolved Gas Analysis) pada transformator EAF 7 tidak ada karna pada saat itu pengujian DGA pada EAF 7 sudah lewat yaitu pada bulan Agustus, dan data hanya dapat dilihat saja tidak boleh disebar luaskan, maka hanya ada data BDV saja yang didapat. Jadi hanya penjelasan lapangan saja bagai mana cara melakukan test DGA, dampak apa saja yang terjadi jika tidak dilakukan test DGA, dan Standar-standar yang digunakan untuk menjadi patokan baku untuk melihat nilai yang layak atau lulus uji test.

Uji DGA dilakukan pada suatu sampel minyak diambil dari unit transformator kemudian gas-gas terlarut (dissolved gas) tersebut diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya, dan dihitung kuantitasnya (dalam satuan Part Per Million -

ppm). Keuntungan utama uji DGA adalah deteksi dini akan adanya fenomena kegagalan yang ada pada transformator yang diujikan. Namun kelemahan utamanya adalah diperlukan tingkat kemurnian yang tinggi dari sampel minyak yang diujikan. Rata-rata alat uji DGA memiliki sensitivitas yang tinggi untuk mendeteksi gas terlarut yang terkandung dalam sampel minyak isolasi trafo, oleh sebab itu dibutuhkan sampel minyak yang murni. Ketidakmurnian sampel akan menurunkan tingkat akurasi dari hasil uji DGA (Puntoko, 2008).

3. Data Uji Tahanan Isolasi

Pengujian di Trafo EAF 7 ini dilakukan dengan menggunakan alat yang bernama Megger. Cara menggunakan alat ini untuk pengujian tahanan isolasi dengan menghubungkan masing-masing R-S-T dengan probe 1 atau penghubung pada alat magger dan probe2 pada alat megger dke ground. Setelah itu dapat dilihat angka atau nilai dari masing-masing R, S, dan T.

Pengujian tahanan isolasi (Insulation Resistance Test) dilakukan untuk mengetahui kondisi isolasi suatu peralatan listrik untuk keamanan pengoperasian alat selanjutnya. Sebaiknya pengujian dilakukan secara teratur (berkala) sehingga didapat grafik kondisi tahanan isolasi peralatan tersebut dari waktu ke waktu sehingga dapat diketahui laju kerusakannya dan dapat mencegah kerusakan alat secara tiba-tiba. Berikut adalah data hasil pengujian tahanan isolasi:

Tabel 3. Data pengujian tahanan isolasi pada EAF 7

No	Deskripsi	Hasil Pengukuran		Lama Pengukuran (menit)	Keterangan
		Nilai	Satuan		
	Voltage Injection Megger	10.000	V _{DC}		
1	R - Ground	13600	MΩ	1	Pengukuran dengan Megger 10.000 volt DC Standart PUIL 2000 (1 volt = 1000 Ohm/1 menit)
2	S - Ground	14900	MΩ	1	
3	T - Ground	14800	MΩ	1	
4	R - Ground	38900	MΩ	1	
5	S - Ground	38500	MΩ	1	
6	T - Ground	42000	MΩ	1	

Pelaksana Pekerjaan : Aldi S., Parsimin
 Keterangan :
 - Pengukuran dilakukan dari arah substation SSP I kearah substation MTS I.
 - Hasil pengukuran dinyatakan laik Pakai / Operasi.

Dari data hasil pengujian tahanan insulasi, degradasi nilai yang didapat dari hasil pengujian tersebut mengindikasikan hal-hal sebagai berikut: (1) Pembengkakan, retak, pemisahan, perubahan warna sebagai indikasi penuaan akibat panas (termal). (2) Timbulnya kontaminasi pada permukaan kumparan dan permukaan koneksi. (3) Terjadinya Abrasi atau hal yang disebabkan tekanan mekanis lainnya. (4) Bukti terjadinya luahan parsial (partial discharge) dan korona. (5) Adanya baut ya ng longgar, pembengkokan dan sebagainya. (6) Goyangnya bagian penyangga/penahan kumparan akibat vibrasi/getaran mekanikal (biasanya pada penyangga dan penahan kumparan pada trafo).

Tindakan preventif pada saat pengujian tahanan isolasi adalah berhentinya kerja trafo secara sementara untuk mengujikan tahanan isolasi. Sebelumnya sudah ada jadwal untuk pengujian tahanan isolasi agar tdiak mengganggu produksi di dapur 7 SSP 1.

Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemeliharaan tidak terencana, merupakan pemeliharaan yang tidak dapat di prediksi atau di rencanakan, dilakukan jika ada kerusakan saja baru dilakukan pemeliharaan atau dapat

dikatakan alat yang digunakan sudah tidak bisa dipakai lagi dan harus diganti. Selanjutnya adalah pemeliharaan Terencana, yang merupakan jenis pemeliharaan yang diatur kapan akan lakukan pemeliharaan dalam jangka waktu tertentu. Pemeliharaan yang dilakukan untuk Trafo pada EAF (*Electric Arc Furnace*) 7 adalah pemeliharaan Terencana, memakai metode *Preventif Maintenance*.

2. Pemeliharaan Transformator yang dilakukan di Dapur *Electric Arc Furnace* (EAF) 7 adalah Uji *BreakDown Voltage* (BDV), Uji *Dissolved Gas Analysis*, dan Uji Tahanan Isolasi yang masing-masing di uji dengan jadwal yang berbeda dengan masing-masing dilakukan sebanyak dua kali selama satu tahun.
3. Kerusakan yang sering terjadi pada trafo EAF 7 adalah tegangan tembus dan trafo *overheat* karna suhu ruangan tidak dingin diakibatkan trafo dekat dengan tempat pemasakan atau peleburan besi.

Daftar Pustaka

- [1] Hanif, M., Urip, M. 2015. Analisis Pengaruh Jadwal Pemeliharaan Terhadap Keandalan Transformator 80 Mva Berdasarkan Hasil Uji Tes Dga dan Tegangan Tembus Dengan Metode Markov (Studi Kasus: Industri Peleburan Baja Pt Xyz). Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Vol. 4 No. 1.
- [2] Agung, A. 2010. Teknik Tegangan Tinggi: Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] Tobing, B. 2003. Peralatan Tegangan Tinggi, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [4] Puntoko. 2008. Modul Training Transformator. Krakatau Daya Listrik. Banten.
- [5] Rendy, H. W., Soemarwanto., Hadi, S. 2013. Pengaruh Filterisasi Minyak Trafo Terhadap Kinerja Transformator Daya 30 Mva Di Gardu Induk Sengkaling. Teknk Elektro, Universitas Brawijaya.
- [6] Anonim. 2014. Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer Gardu Induk. PT. PLN (Persero) Tbk).
- [7] Surya Darma. 2012, Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi 200 KVA, Jurnal Teknik Elektro, vol 1 nomor 2 Februari 2012, ISSN 2089-2942.
- [8] Dimas, A. A. 2013, Optimalisasi Pembebanan Transformator Distribusi Dengan Penyeimbangan Beban, vol 7, desember 2013, ISBN: 978-979-127255-0-6.
- [9] Rendy, K. P., Fri, M. 2017. Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair. Jom FTEKNIK Volume 4 N0. 2.
- [10] Hermawan, Abdul, S., Irwan, I. 2011. Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Transformator Tenaga Akibat Pembebanan Dan Penuaan. TEKNIK-Vol. 32 No. 3.
- [11] Henry, P. 2010. Paper Optimalisasi Sistem Kontrol Elektroda. Cilegon.
- [12] Didik, A., Romi, W., Daniel, A, Y. H. 2011. Care and Maintenance System Generator Transformer 20KV-150KV. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Teknik Elektro. Vol. 8 No. 1.
- [13] Operating Instrucion Transformer Protection Relay (Buchholz Principle). Elektromoteren und Geratebau Barleben GmbH.
- [14] Dimas, A. A., Soemarwanto., Hery, P. 2013. Analisis Kegagalan Transformator Di PT Asahimas Chemical Banten Berdasarkan Hasil Uji DGA Dengan Metode Roger's Ratio. Teknik Elektro, Universitas Brawijaya. Vol.1 No. 1.
- [15] Mujiman & Priyosusilo, L. 2012. Permodelan Beban Puncak Gardu Induk Waters dengan Program Aplikasi Microsoft EXCEL. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III.