

Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi Transformator 6,6 kV/380 V di PT.INTIBENUA PERKASATAMA Dumai

Saprianto*, Firdaus **

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: saprianto1292@gmail.com

ABSTRACT

The increment of electric energy consumption causes the transformer to experience a high load and needs to be detected and treated to increase reability and reduce failure. Dielectric strength is one of detection parameter used. The purpose of this research is to analyze dielectric strength of Shell Diala S4 ZX-1 insulating oil based on changes of transformer loading. In this research, breakdown voltage is tested to see the effect of temperature rise due to changes in transformer load on transformer oil dielectric strength. The relationship between dielectric strength, temperature rise and transformer loading is analyze using correlation and linier regression analyze. The research result strong and positive correlation ($r = +0,99$) between temperature rise and transformer loading, strong and negative correlation between temperature rise and dielectric strength ($r = -0,98$), and strong and negative correlation ($r = -0,94$) between transformer loading and dielectric strength.

Keywords : *Dielectric strength, transformer loading, liquid insulator*

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya melalui aksi medan magnet. Seiring meningkatnya konsumen yang membutuhkan energi listrik menyebabkan transformator mengalami pembebanan yang terlalu tinggi yang dapat menyebabkan suhu minyak isolasi menjadi meningkat yang dapat mengurangi kekuatan dielektriknya dan akan sangat merugikan jika terjadi kerusakan pada transformator. Karena transformator merupakan aset yang mahal, penggantian transformator untuk meningkatkan keandalan sistem secara ekonomis bukan pilihan yang tepat. Oleh karena itu, perawatan dan pendeteksian kerusakan transformator perlu dilakukan secara rutin agar transformator bisa bekerja sesuai dengan masa pemakaian maksimumnya. Setelah kebutuhan listrik tercukupi maka akan timbul permasalahan lain yaitu dalam perlindungan (proteksi) peralatan-

peralatan yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik maupun peralatan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik tersebut.

Untuk pemeliharaan transformator daya khususnya pada minyak isolasi dilakukan pengujian untuk mengetahui keadaan ataupun kemampuan minyak isolasi sebagai penghantar dan sebagai isolasi. Pengujian kekuatan dielektrik merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan dielektrik minyak isolasi transformator. Dari hasil pengujian tersebut akan dapat disimpulkan dan diprediksi jenis gangguan yang dapat terjadi pada minyak isolasi transformator dan dapat dilakukan tindakan pencegahan kegagalan transformator.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang fungsinya menyalurkan dan mengubah daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya pada frekuensi yang sama menggunakan gandingan

magnet berisi kumparan dan berdasarkan prinsip elektromagnetik. Pada umumnya transformator satu fasa terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

Pada sistem penyaluran seperti ini sangat bergantung pada kemampuan dan efektifitas dari transformator itu sendiri, dikarenakan pemakaian yang terus menerus akan timbul panas pada daerah-daerah/bagian internal dari transformator atau bisa disebut sebagai temperatur hot-spot yang bila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator tersebut, terutama isolasi cair yang berupa minyak dan biasanya disebut minyak transformator .

2.2 Minyak Isolasi Transformator

Kegunaan minyak trafo selain menjadi isolasi juga berfungsi sebagai media pendingin antara kumparan kawat atau inti besi dengan sirip pendingin. Suatu peralatan listrik harus memiliki isolasi elektrik dan juga harus memiliki isolasi thermal, isolasi elektrik berfungsi menjadi pemisah antara bagian bagian peralatan yang memiliki beda potensial sedangkan isolasi thermal berfungsi menyerap panas yang terjadi akibat penggunaan beban yang terlalu tinggi dan terus-menerus.

Minyak Isolasi yang sering digunakan ada 2 jenis yaitu :

1) Minyak Isolasi Organik

merupakan minyak isolasi yang bahan dasarnya dari minyak bumi yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi yang diproses dari hasil destilasi ini masih harus dimodifikasi agar kekuatan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik, dan mempunyai karakteristik panas yang stabil serta memenuhi syarat-syarat sebagai isolasi cair.

2) Minyak Isolasi Sintesis

merupakan minyak yang mengalami proses kimiawi yang diharapkan mempunyai karakteristik yang lebih baik untuk digunakan pada sistem ketenagalistrikan.

2.3 Sifat-sifat Isolasi Minyak

2.3.1 Sifat-sifat Fisika Isolasi Minyak

Sifat-sifat fisika menjelaskan sifat isolasi cair secara umum yang nantinya digunakan dalam proses perencanaan peralatan. Sifat-sifat fisika yang terpenting yaitu :

- 1)Kejernihan (*Appearance*)
- 2)Massa Jenis (*Specific Mass*)
- 3)Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)
- 4)Titik Nyala (*Flash Point*)
- 5)Titik Tuang (*Pour Point*)
- 6)Kandungan Air (*Water Content*)

2.3.2 Sifat Listrik Isolasi Minyak

Sifat-sifat listrik isolasi yaitu sifat yang akan menunjukkan kinerja cairan sebagai isolasi, adapun sifat-sifat tersebut yaitu :

- 1)*Withstand Breakdown*
- 2)Kapasitansi listrik per unit volume
- 3)Faktor Daya
- 4)Resistivitas

2.4 Karakteristik Minyak Terhadap Temperatur

Pada peralatan yang menggunakan minyak sebagai isolasi, panas dialirkan secara konveksi. Proses aliran panas secara konveksi (N) dapat dihitung dengan:

$$N = \left(\frac{K^3 A}{v} \right)^n \quad (2.1)$$

Dengan :

K = Konduktivitas thermal

A = Koefisien pemuai

C = Panas/satuan volume

v = Viskositas kinematik

n = Konstanta (0,25~0,33)

2.5 Mekanisme Kegagalan Pada Isolasi Cair

Kegagalan isolasi (*insulation breakdown, insulation failure*) disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama digunakan, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Pada dasarnya jika suatu tegangan diberikan terhadap dua elektroda yang diisolasi dengan minyak maka terlihat adanya konduksi arus yang kecil. Jika tegangan dinaikkan secara

terus-menerus, maka pada titik kritis tertentu akan mengakibatkan lucutan/loncatan pada kedua elektroda tersebut. Lucutan/loncatan pada zat cair terdiri dari :

- 1) Aliran listrik yang besarnya ditentukan oleh karakteristik rangkaian
- 2) *Flash Point* dari elektroda satu ke elektroda lainnya
- 3) Terjadi gelembung gas dan butir-butir zat padat hasil dekomposisi zat cair
- 4) Terjadi lubang pada elektroda yang menyebabkan tembus tegangan

2.6 Kekuatan Dielektrik Cair

Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dielektrik. Kekuatan dielektrik cair tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri, material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan dan sebagainya. Menurut hukum Paschen's, kekuatan dielektrik cair berkisar antara 107 V/cm.

Kekuatan medan maksimum (medan listrik) yang dapat dipikul oleh minyak isolasi selama diberikan tegangan secara terus menerus disebut kekuatan dielektrik minyak isolasi. Peristiwa kegagalan minyak isolasi dalam melaksanakan fungsinya sebagai bahan dielektrik disebut tembus listrik (*breakdown*). Peristiwa tembus listrik ini terjadi bila kuat medan yang dipikul melebihi kekuatan dielektriknya.

Breakdown terjadi jika :

$$ED > EC$$

Dimana :

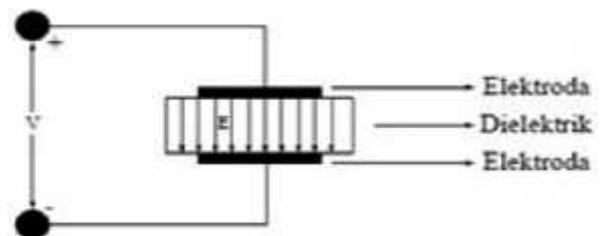
ED = kuat medan yang dipikul isolator

EC = kekuatan dielektrik isolator

2.7 Medan Listrik

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Pada Gambar 2.1 dibawah iniditunjukkan suatu bahan dielektrik yang ditempatkan pada dua elektroda piring sejajar. Bila elektroda di beri tegangan searah V, maka timbul medan listrik (E) di

dalam dielektrik. Medan elektrik ini memberikan gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan listrik merupakan suatu bahan yang menekan dielektrik agar berubah menjadi konduktor.



Gambar 2.1 Medan Listrik pada Dielektrik

3. METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Deltatronic Instrument*

Merk : *Deltatronic Instrument*

Type : *Portatest 90 S*, 50-60 Hz, 900 VA, 9000 VAC

NR : 96220618

Jumlah : 1 set

Deltatronic Instrument ini digunakan untuk menguji tegangan tembus minyak isolasi trafo, menggunakan tegangan 1 fasa yang dinaikkan oleh auto transformator. *Deltatronic Instrument* dilengkapi dengan *switch* otomatis yang akan mati dan mereset ulang jika sudah terjadi tegangan tembus pada minyak isolasi yang diuji.



Gambar 3.1 *Deltatronic Instrument*

2. *Oil Cup Standard IEC 156*

Wadah ini digunakan sebagai tempat minyak isolasi saat pengujian, wadah tersebut dilengkapi dengan elektroda setengah bola dengan jarak 2,5 mm antara kedua elektroda tersebut, sesuai dengan standard *IEC 156*.



Gambar 3.2 Oil Cup

3. Bejana Pemanas Minyak Isolasi

Bejana ini digunakan untuk memanaskan minyak isolasi sesuai dengan suhu-suhu yang akan diuji tegangan tembusnya.

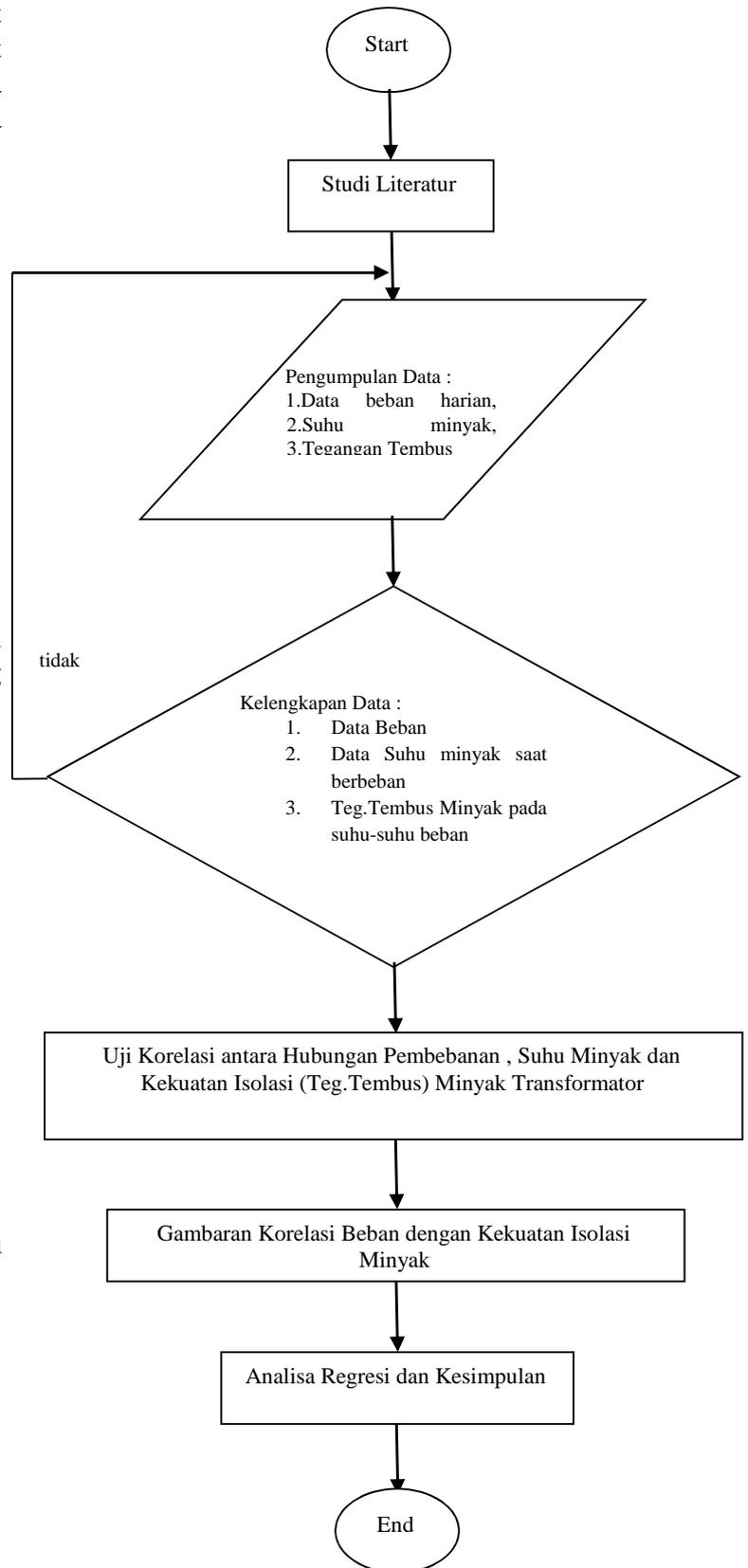


Gambar 3.3 Bejana Pemanas Minyak Isolasi

4. Thermometer Suhu

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu pada minyak.

3.2 *Flowchart Penelitian*

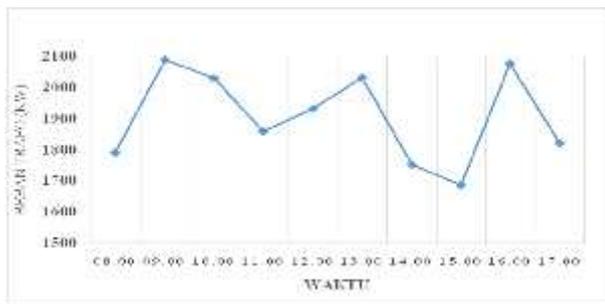


Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

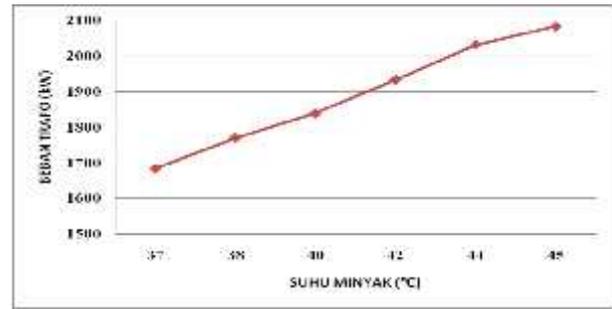
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.1 Data Beban,Suhu,Teg.Tembus

Hari, Tanggal	Waktu (WIB)	Beban Trafo (Kw)	Suhu minyak °C	Tegangan Tembus (Kv)
Rabu, 07 Desember 2016	08.00	1790	38	15,88
	09.00	2091	45	14,03
	10.00	2031	44	14,36
	11.00	1859	40	17,04
	12.00	1933	42	14,91
	13.00	2033	44	14,36
	14.00	1752	38	17,85
	15.00	1685	37	18,83
Kamis, 08 Desember 2016	16.00	2077	45	14,03
	17.00	1820	40	17,04
	08.00	1747	37	18,83
	09.00	1970	43	14,45
	10.00	1973	43	14,45
	11.00	1744	37	18,83
	12.00	1702	37	18,83
	13.00	1936	42	14,91
Jumat, 09 Desember 2016	14.00	1890	41	15,88
	15.00	1920	42	14,91
	16.00	1830	40	17,04
	17.00	1933	42	14,91
	08.00	1700	37	18,83
	09.00	1995	43	14,45
	10.00	1959	42	14,91
	11.00	1823	40	17,04
Desember 2016	12.00	1922	42	14,91
	13.00	1795	38	17,85
	14.00	1836	40	17,04
	15.00	1560	36	20,50
	16.00	1638	37	18,83
	17.00	1674	37	18,83

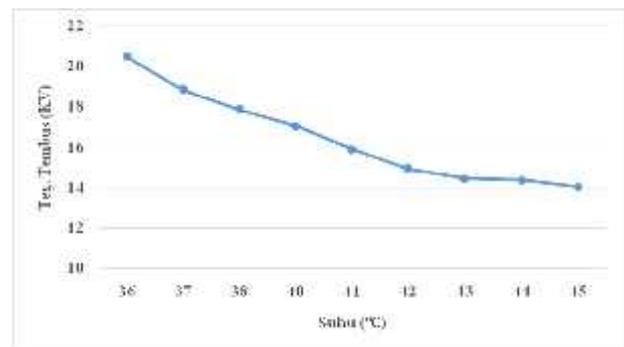


Gambar 4.1 Grafik Beban Trafo tanggal 07 Desember 2016



Gambar 4.2 Grafik Suhu Terhadap Beban tanggal 07 Desember 2016

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa kenaikan beban pada trafo menyebabkan kenaikan suhu minyak isolasi. Untuk beban terendah 1685 kW suhu minyaknya yaitu 37 °C dan untuk beban tertinggi 2091 kW suhu minyaknya yaitu 45 °C. Terlihat kenaikan beban linier terhadap kenaikan suhu minyak isolasi.



Gambar 4.3 Grafik Suhu Terhadap Tegangan Tembus

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa kenaikan suhu minyak isolasi akan memperburuk kinerja minyak sebagai isolator, karena semakin tinggi suhu minyak maka semakin rendah nilai tegangan tembus minyak isolasi tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan panas pada minyak isolasi mengakibatkan perubahan pada struktur kimia minyak isolasi tersebut sehingga dielektrik minyak isolasi juga berubah. Perubahan ini jika berlangsung terus-menerus akan mempercepat terjadinya proses ionisasi sehingga minyak isolasi dapat menghantarkan arus atau tembus listrik.

4.2 Korelasi Beban Terhadap Suhu

Tabel 4.2 Perhitungan korelasi Beban dan Suhu tanggal 07 Desember 2016

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	Beban(kW)	Suhu (°C)			
1	1790	38	68020	3204100	1444
2	2091	45	94095	4372281	2025
3	2031	44	89364	4124961	1936
4	1859	40	74360	3455881	1600
5	1933	42	81186	3736489	1764
6	2033	44	89452	4133089	1936
7	1752	38	66576	3069504	1444
8	1685	37	62345	2839225	1369
9	2077	45	93465	4313929	2025
10	1820	40	72800	3312400	1600
	19071	413	791663	36561859	17143

Perhitungan Korelasi antara Beban dan Suhu tanggal 07 Des 16.

$$r = \frac{(n \sum XY) - (\sum X \sum Y)}{\sqrt{[(n \sum X^2) - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{(10 \times 791663) - (19071 \times 413)}{\sqrt{[(10 \times 36561859) - (19071)^2][10 \times 17143 - (413)^2]}}$$

$$r = \frac{7916630 - 7876323}{\sqrt{[365618590 - 363703041] \times [171430 - 170569]}}$$

$$r = \frac{40307}{40611,42}$$

$$r = 0,99$$

Persamaan empiris regresi linier antara Beban dan Suhu tanggal 07 Desember 2016.

Menghitung konstanta (a) :

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(413 \times 36561859) - (19071 \times 791663)}{(10 \times 36561859) - (19071)^2}$$

$$a = \frac{15100047767 - 15097805073}{365618590 - 363703041}$$

$$a = \frac{2242694}{1915549}$$

$$a = 1,17$$

Menghitung koefisien Regresi (b) :

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(10 \times 791663) - (19071 \times 413)}{(10 \times 36561859) - (19071)^2}$$

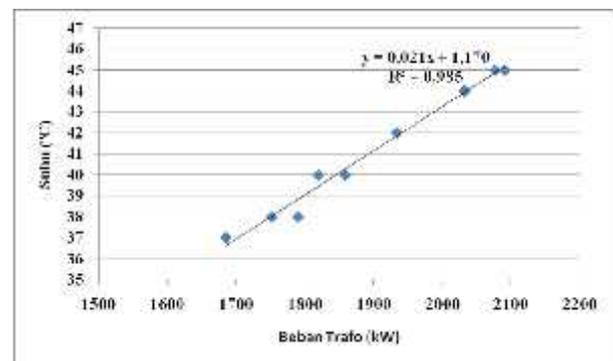
$$b = \frac{7916630 - 7876323}{365618590 - 363703041}$$

$$b = \frac{40307}{1915549}$$

$$b = 0,02$$

Persamaan Regresi Linier :

$$Y = 1,17 + 0,02X$$



Gambar 4.4 Grafik Regresi Linier Beban trafo terhadap Suhu tanggal 07 Desember 2016

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat kenaikan beban trafo linier terhadap suhu minyak isolasi, dan diperoleh persamaan empiris Regresi Linier $y = 0,021x + 1,170$ dengan $R^2 = 0,985$. Jika $R^2 = 0,985$ berarti kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 98,5%, maka beban trafo dan suhu minyak sangat terikat. Untuk nilai $r = +0,99$ artinya korelasinya positif (berbanding lurus), jika beban trafo meningkat maka suhu minyak juga akan meningkat.

4.3 Korelasi Suhu Terhadap Teg.Tembus

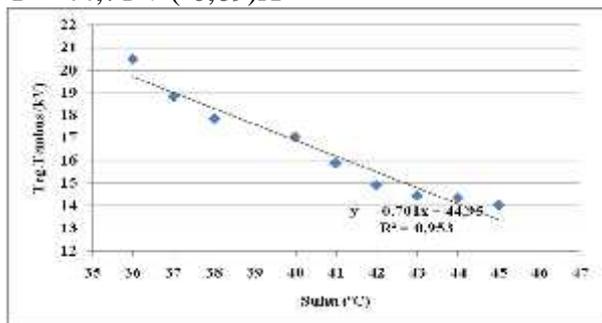
Tabel 4.3 Perhitungan korelasi Suhu dan Tegangan Tembus

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	Suhu (°C)	Teg.Tembus (Kv)			
1	36	20,50	738	1296	420,25
2	37	18,83	696,71	1369	354,57

3	38	17,85	678,3	1444	318,62
4	40	17,04	681,6	1600	290,36
5	41	15,88	651,08	1681	252,17
6	42	14,91	626,22	1764	222,31
7	43	14,45	621,35	1849	208,80
8	44	14,36	631,84	1936	206,21
9	45	14,03	631,35	2025	196,84
	366	147,85	5956,45	14964	2470,14

7	1752	17,85	31273,2	3069504	318,62
8	1685	18,83	31728,55	2839225	354,57
9	2077	14,03	29140,31	4313929	196,84
10	1820	17,04	31012,8	3312400	290,36
	19071	158,33	299774,2	3656185	2534,4
			2	9	9

Persamaan Regresi Linier :
 $Y = 44,71 + (-0,69)X$



Gambar 4.5 Grafik Regresi Linier Suhu terhadap Tegangan Tembus

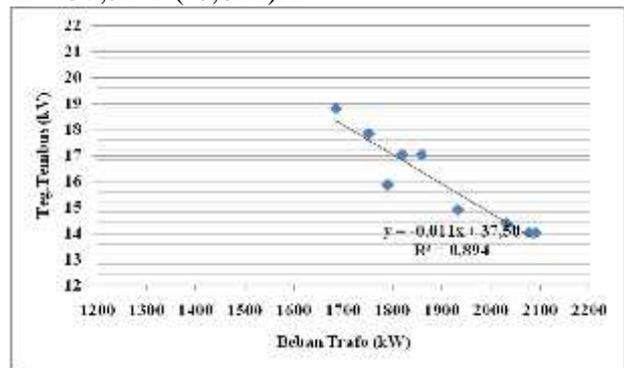
Dari Gambar 4.5 dapat dilihat kenaikan suhu minyak linier terhadap tegangan tembus minyak isolasi, dan diperoleh persamaan empiris Regresi Linier $y = -0,701x + 44,95$ dengan $R^2 = 0,953$. Jika $R^2 = 0,953$ berarti kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 95,3%, maka suhu minyak dan tegangan tembus minyak isolasi sangat terikat. Untuk nilai $r = -0,98$ artinya korelasinya negatif (berbanding terbalik), jika suhu minyak meningkat maka nilai tegangan tembus akan semakin menurun dan sebaliknya.

4.4 Korelasi Beban Terhadap Teg. Tembus

Tabel 4.4 Perhitungan korelasi Beban dan Tegangan Tembus tanggal 07 Desember 2016

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	Beban (kW)	Teg. Tembus (Kv)			
1	1790	15,88	28425,2	3204100	252,17
2	2091	14,03	29336,73	4372281	196,84
3	2031	14,36	29165,16	4124961	206,21
4	1859	17,04	31677,36	3455881	290,36
5	1933	14,91	28821,03	3736489	222,31
6	2033	14,36	29193,88	4133089	206,21

Persamaan Regresi Linier :
 $Y = 37,51 + (-0,011)X$



Gambar 4.6 Grafik Regresi Linier Beban Trafo terhadap Tegangan Tembus tanggal 07 Desember 2016

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat kenaikan beban trafo linier terhadap tegangan tembus minyak isolasi, dan diperoleh persamaan empiris Regresi Linier $y = -0,011x + 37,51$ dengan $R^2 = 0,894$. Jika $R^2 = 0,894$ berarti kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 89,4%, maka beban trafo dan tegangan tembus minyak isolasi sangat terikat. Untuk nilai $r = -0,94$ artinya korelasinya negatif (berbanding terbalik), jika beban trafo meningkat maka nilai tegangan tembus akan semakin menurun dan sebaliknya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran, pengujian dan analisa Beban serta Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi di PT.Intibenua Perkasatama Dumai tanggal 07 Desember 2016 – 09 Desember 2016, maka Penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut :

- 1) Kenaikan beban pada trafo berbanding lurus dengan kenaikan Suhu minyak isolasi dengan korelasi positif yang kuat

- $r = +0,99$, dengan kata lain semakin besar pembebanan pada trafo, semakin tinggi pula Suhu minyak isolasinya .
- 2) Kenaikan Suhu minyak isolasi berbanding terbalik dengan kekuatan dielektrik (tegangan tembus) minyak isolasi dengan korelasi negative yang kuat $r = -0,98$, dengan kata lain semakin tinggi Suhu minyak isolasi, semakin buruk pula kekuatan dielektrik minyak isolasi.
 - 3) Dari analisa korelasi hubungan kenaikan Beban dengan Kekuatan Dielektrik (Tegangan Tembus) diperoleh suatu grafik yang linier . Untuk tanggal 07 Desember 2016 diperoleh $y = -0,011x + 37,50$ dengan nilai $r = -0,94$ dan $R^2 = 0,894$, untuk tanggal 08 Desember 2016 diperoleh $y = -0,018x + 50,96$ dengan nilai $r = -0,99$ dan $R^2 = 0,980$, dan untuk tanggal 09 Desember 2016 diperoleh $y = -0,701x + 44,95$ dengan nilai $r = -0,98$ dan $R^2 = 0,953$.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan yaitu,

1. Untuk menghindari terjadinya kerusakan pada transformator, sebaiknya pembebanan pada transformator tidak terlalu tinggi, sekitar ± 80 % dari total beban.
2. Untuk minyak isolasi transformator sebaiknya dilakukan pengujian sebelum digunakan pada transformator agar dapat mengetahui batas tegangan tembusnya.

DAFTAR PUSTAKA

Latif Melda. 2008, Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Nabati Sebagai Bahan Isolasi Transformator Daya. Jurnal, Teknik Elektro, UNAND.

Hamzah Berahim, Singgih Nur Sugeng. 2009, Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC dan DC Pada Minyak Transformator. Jurnal,

Teknik Elektro, Universitas Gajah Mada.

Pranata Sinuhaji Yustinus. 2012. Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo. Skripsi Sarjana, Teknik Elektro, Universitas Jember.

Ayu Ketut Umiati, Ngurah. 2009, Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit Dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektroda Dan Temperatur. Jurnal, Teknik Fisika, FMIPA, Universitas Diponegoro.

Garniwa Iwa, Fritz. S Jonathan. 2009, Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator. Jurnal, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok.

Suwarsito Pratomo Dedi, Zuni Astuti Erna, M.Kom. 2012 . Analisis Regresi Dan Korelasi Antara Pengunjung Dan Pembeli Terhadap Nominal Pembelian Di Indomaret Kedungmundu Semarang Dengan Metode Kuadrat Terkecil. Jurnal, Teknik Informatika, Universitas Dian Nuswantoro.