

# Analisa Pengaruh *Water Content* Terhadap Kekuatan Dielektrik *Breakdown Voltage* pada Minyak Tranformator 500kV di PLTU Paiton Menggunakan Metode Korelasi

Radinal Hadinata

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Jl. Kalimantan 37, Jember 68121

E-mail: [dinal27021993@gmail.com](mailto:dinal27021993@gmail.com),

## Abstrak

Sebagai isolasi transformator, kondisi minyak transformator harus diperhatikan dan dilakukan pengecekan rutin. Breakdown voltage dan water content merupakan parameter penting dalam pengecekan kondisi minyak transformator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kandungan air (*water content*) terhadap kekuatan dielektrik tegangan tembus (*breakdown voltage*) pada minyak transformator dengan menggunakan metode korelasi. Dengan menggunakan satu jenis Transformator 500 Kv dan satu jenis minyak tranformator Kunlun Ki25x didapatkan sampel data dari kedua parameter tersebut. Dari hasil pengujian dan analisa didapat bahwa kenaikan *water content* berbanding terbalik dengan kenaikan *breakdown voltage* dengan hasil korelasi negatif yang kuat yaitu -0,88. Selain itu, kenaikan suhu minyak isolasi berbanding lurus dengan kandungan air (*water content*) minyak isolasi dengan korelasi positif yang kuat yaitu 0.92.

**Kata Kunci:** *Minyak Transformator, Water Content dan Breakdown Voltage, Koefesien Korelasi.*

## Abstract

As a transformer insulation, the condition of the transformer oil must be considered and carried out routine checks. Breakdown voltage and water content are important parameters in checking the condition of transformer oil. This study aims to analyze the effect of water content on breakdown voltage in transformer oil using the correlation method. Using one type of Transformer 500 Kv and one type of Kunlun Ki25x transformer oil, a sample data was obtained from the two parameters. From the results of testing and analysis it was found that the increase in water content was inversely proportional to the increase in breakdown voltage with a strong negative correlation of -0.88. In addition, the increase in insulation oil temperature is directly proportional to the insulation oil water content with a strong positive correlation of 0.92.

**Keywords:** *Oil Transformer, Water Content and Breakdown Voltage, Correlation Coefficient.*

## 1. Pendahuluan

Transformator merupakan peralatan yang penting dalam menyalurkan daya listrik mulai dari proses pembangkitan hingga didistribusikan kepada konsumen. Transformator berfungsi menaikkan atau menurunkan suatu level tegangan tertentu ke level tegangan lainnya tanpa mengubah besarnya daya, frekuensi dan fasa dari sistem tersebut. Gangguan yang terjadi pada transformator umumnya dikarenakan pembebanan transformator yang berlebih dalam waktu terus-menerus, sehingga berakibat buruk pada kondisi dan karakteristik transformator serta isolasinya. Akibat pemakaian pada kondisi 100% secara terus-menerus, akan timbul titik-titik panas pada daerah internal dari transformator, yang apabila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator tersebut, terutama isolasi cair berupa minyak yang biasa dikenal sebagai minyak transformator. Apabila minyak transformator berada dalam keadaan panas selama beberapa waktu, maka minyak ini akan mendidih dan menghasilkan uap-uap air pada bagian langit-langit dari transformator. Kemudian, uap-uap air yang timbul

akibat pemanasan minyak tersebut akan jatuh ke dalam minyak transformator dan akan mengendap pada isolator inti dan juga pada bagian inti transformator itu sendiri. Kenaikan temperatur yang terjadi, serta terdapatnya kandungan air mempengaruhi kinerja isolasi minyak transformator. Faktor tersebut tentu saja dapat memengaruhi terjadinya degradasi tegangan tembus dari minyak transformator.

Penelitian mengenai minyak transformator juga dilakukan oleh Garniwa dan Jonathan friz S pada jurnal "*Analisis Pengaruh Kenaikan Temperature dan Umur Minyak Transformator terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator*" dalam risetnya menyatakan kenaikan temperature mempengaruhi nilai tegangan tembus minyak transformator. Selain itu penelitian lain dilakukan oleh Firdaus pada jurnal "*Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi Transformator 6,6kV/380V di PT. INTIBENUA PERKASATAMA Dumai*" dalam risetnya pembebanan dan temperature transformator mempengaruhi kekuatan dielektrik tegangan tembus. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada parameter yang digunakan dan juga sampel yang digunakan dari jenis

Transformer 500Kv. Pada penelitian ini ingin berfokus pada pengaruh Kandungan Air (Water Content) terhadap Breakdown Voltage (Tegangan Tembus). Oleh karena itu, akan dilakukan pengujian kandungan air (Water Content Test) pada minyak transformator dan pengujian tegangan tembus (Breakdown Voltage). Penggunaan metode koefisien korelasi yang ingin mengetahui pengaruh antara Kandungan Air (Water Content) terhadap Tegangan Tembus (Breakdown Voltage). Dengan menggunakan koefisien korelasi dapat menentukan hubungan antara variable satu dengan variable lain pada tabel hubungan koefisien korelasi dengan memasukkannya hasil perhitungan pada formula yang telah ditentukan.

Hasil penelitian membuktikan bahwa kenaikan water content berbanding terbalik dengan kenaikan breakdown voltage minyak isolasi dengan korelasi negatif yang kuat. Selain itu, kenaikan suhu minyak isolasi berbanding lurus dengan kandungan air (water content) minyak isolasi dengan korelasi positif yang kuat.

Jurnal ini tersusun atas pendahuluan, tinjauan teoritis, metode penelitian, hasil penelitian, pembahasan, kesimpulan, saran, dan daftar pustaka.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Transformator Daya

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Transformator dapat dibagi menurut fungsi seperti:

1. Transformator Mesin (Pembangkit).
2. Transformator Gardu Induk.
3. Transformator Distribusi

Transformator dapat juga dibagi menurut Kapasitas dan Tegangan seperti:

1. Transformator besar
2. Transformator sedang
3. Transformator kecil



**Gambar 2.1** Transformator Pembangkit

### 2.2 Minyak Transformator

Minyak transformator mempunyai sifat yang sama seperti sebuah isolasi dan media pemindah,

sehingga minyak transformator tersebut dapat berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.



**Gambar 2.7** Minyak Kunlun Ki25x

Minyak transformator harus memenuhi persyaratan, yaitu:

- a. Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak transformator harus kelas 1 dan 2 untuk minyak baru dan belum difilter > 30 kV/2.5 mm dan setelah difilter yaitu > 50 kV/2.5mm
- b. Penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
- c. Viskositas yang rendah, agar lebih mudah bersirkulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak kelas 1 saat suhu 40° C adalah < 16,5cSt.
- d. Titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap yang dapat menimbulkan bahaya
- e. Tidak merusak bahan isolasi padat
- f. Sifat kimia yang stabil

### 2.3 Kegagalan Pada Minyak Transformator

Karakteristik pada isolasi minyak transformator akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas.

Teori mengenai kegagalan dalam zat cair kurang banyak diketahui apabila dibandingkan dengan teori kegagalan gas atau zat padat. Hal tersebut disebabkan karena sampai saat ini belum didapatkan teori yang dapat menjelaskan proses kegagalan dalam zat cair yang benar-benar sesuai antara keadaan secara teoritis dengan keadaan sebenarnya. Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut:

#### a. Teori Kegagalan Elektronik

Teori ini merupakan perluasan teori kegagalan dalam gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas. Oleh karena itu supaya terjadi kegagalan diperlukan elektron awal yang dimasukkan ke dalam zat cair. Elektron awal inilah yang akan memulai proses kegagalan.

#### b. Teori Kegagalan Gelembung

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan zat cair yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas di dalamnya.

#### c. Teori Kegagalan Bola Cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan didalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan inimenjadi tidak stabil. Kanal kegagalan akan menjalar dari ujung tetesan yang memanjang sehingga menghasilkan kegagalan total.

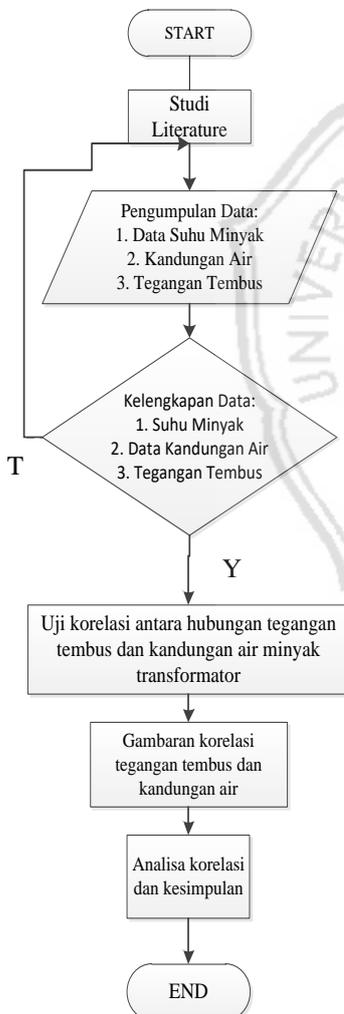
d. Teori Kegagalan Tak Murnian Padat

Kegagalan tak murnian padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat (partikel) didalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Sistematika Penelitian

Adapun Flowchart yang hendak dilakukan dalam penelitian seminar ini adalah sebagai berikut



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

#### 3.2 Peralatan dan Prosedur Pengujian

Untuk melakukan pengujian terhadap minyak transformator ini, akan dilakukan percobaan di Laboratorium PLTU Paiton 9 dengan menggunakan

minyak yang memiliki spesifikasi yang sama dengan minyak yang dipakai di transformator yang ada di IBT tersebut. Pengujian tegangan tembus yang dilakukan pada percobaan kali ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh temperatur lingkungan terhadap tegangan tembus transformator.

#### 3.3 Peralatan Pengujian

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah :

1. Satu buah transformator penguji 500kV
2. Satu set unit pengendali **Megger OTS100AF**
3. Satu buah Bejana penguji, untuk menguji bahan terhadap kemampuannya menahan tegangan baik AC maupun impuls. Pada tabung terdapat 2 elektroda dengan diameter 2,5 mm. Bahan terbuat dari fiber glass
4. Termometer suhu, untuk mengukur suhu dari bahan uji sebelum dilakukan pengujian
5. Bahan yang akan diuji (minyak yang sama seperti yang digunakan pada transformator)
6. Notebook / Laptop
7. Microsoft Office Excel 2010



Gambar 3.2 Alat Pengujian Tegangan Tembus

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Parameter Pengujian

Objek yang diuji dan dianalisis adalah sampel minyak transformator 500Kv. Setiap sampel minyak diuji dengan dua parameter pengujian yaitu pengujian kandungan air dan pengujian tegangan tembus. Berikut data hasil sampel minyak dari setiap parameter pengujian yang dilakukan :

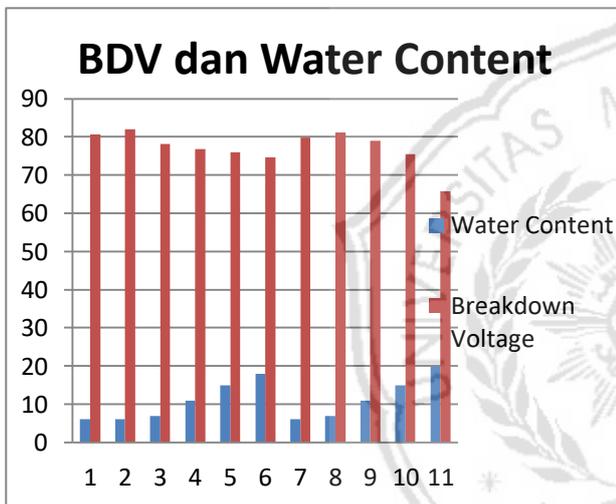
Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Sampel Minyak

No	Tegangan Kerja	Waktu (Bulan)	Suhu	Water Content	Breakdown Voltage
1	650	1 (Apr-16)	53	6	80,6
2	650	6 (Sep-16)	53	6	82
3	650	9 (Des-16)	54	7	78,1
4	650	12 (Mar-17)	55	10,09	76,8
5	650	15 (Jun-17)	55	15	76
6	650	18 (Sep-17)	57	18	74,6
7	650	21 (Des-17)	52	6	79,8

8	650	24 (Mar-18)	52	7	81,2
9	650	31 (Okt-18)	55	11	79
10	650	33 (Des-18)	58	15	75,5
11	650	35 (Feb-19)	59	20	65,7

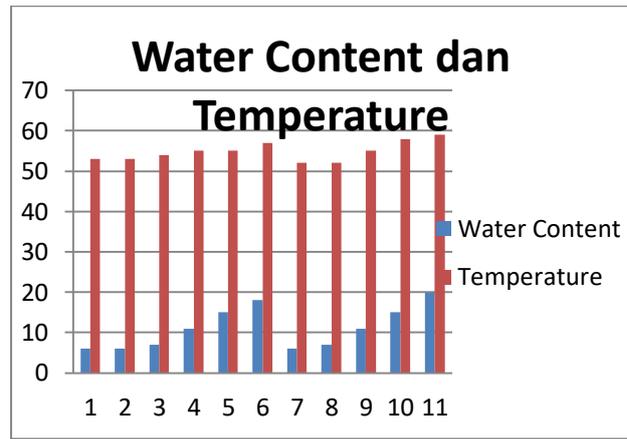
Dari data hasil percobaan tersebut, akan dianalisis indikasi kondisi minyak transformator berdasarkan nilai *Water Content* dan *Breakdown Voltage*. Selain itu, dilakukan interpretasi data dari setiap sampel minyak yang telah diuji, sehingga dapat disimpulkan kondisi minyak transformator berdasarkan parameter-parameter tersebut. Dalam analisis ini juga akan membahas korelasi antara parameter-parameter pengujian, hubungan antara nilai Tegangan Tembus dengan kandungan air (ppm), nilai Temperature minyak dengan nilai pengujian kandungan air dan nilai kandungan air dengan nilai waktu pengambilan sampel minyak transformator.

#### 4.1.1 Indikasi Awal Kondisi Transformer



Gambar 4.1 Grafik Water Content terhadap Tegangan Tembus

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kenaikan water content pada minyak transformator menyebabkan nilai breakdown voltage pada minyak transformator tersebut turun. Saat nilai water content terendah yaitu 6 ppm nilai dari breakdown voltagenya yaitu 82Kv, sedangkan saat water content tertinggi yaitu 20 ppm nilai dari breakdown voltagenya yaitu 65,7 Kv. Terlihat pada grafik nilai water content berbanding terbalik dengan nilai breakdown voltage.



Gambar 4.2 Grafik Water Content terhadap Temperature

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa kenaikan water content pada minyak transformator menyebabkan nilai temperature pada minyak transformator tersebut naik. Saat nilai water content terendah yaitu 6 ppm nilai dari temperature minyak transformator yaitu 53 C, sedangkan saat water content tertinggi yaitu 20 ppm nilai dari temperature minyak transformator yaitu 59 C. Terlihat pada grafik nilai water content linear terhadap nilai temperature minyak transformator. Analisis Korelasi dari Setiap Parameter Uji

#### 4.1.1 Analisa Korelasi Regresi Pengujian BDV dan Water Content

Di bawah ini ialah tabel hasil pengolahan data pengujian analisis water content dan breakdown voltage yang menghasilkan nilai koefisien korelasi dari kedua parameter. Perbandingan kedua parameter ini dilakukan dengan mengambil sebelas sample uji yang tertera pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian BDV dan Water Content

No	Water Content	BDV	$x_i - x$	$y_i - y$	$(x_i - x)^2$	$(y_i - y)^2$	$(x_i - x)(y_i - y)$
1	6	80,6	-5,08	3,39	25,82	11,50	-17,23
2	6	82	-5,08	4,79	25,82	22,95	-24,35
3	7	78,1	-4,08	0,89	16,66	0,79	-3,64
4	10,9	76,8	-0,18	-0,41	0,03	0,17	0,07
5	15	76	3,92	-1,21	15,35	1,46	-4,74
6	18	74,6	6,92	-2,61	47,86	6,81	-18,05
7	6	79,8	-5,08	2,59	25,82	6,71	-13,17
8	7	81,2	-4,08	3,99	16,66	15,93	-16,29
9	11	79	-0,08	1,79	0,01	3,21	-0,15
10	15	75,5	3,92	-1,71	15,35	2,92	-6,70
11	20	65,7	8,92	-11,51	79,53	132,46	-102,64
Jum	121,9	849,3			268,94	204,91	-206,87

Dari tabel 4.2 diatas didapatkan Perhitungan Korelasi antara water content terhadap breakdown voltage untuk menentukan nilai hubungan dari kedua parameter tersebut.

$$R = \frac{\sum(x_i - x)(y_i - y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2 \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2}}$$

$$= \frac{-206,87}{\sqrt{268,94 \times 204,91}}$$

$$= \frac{-206,87}{\sqrt{55108,49}}$$

$$= \frac{-206,87}{234,75}$$

$$= -0,88$$

Persamaan Empiris Regresi linear antara water content dan breakdown voltage dihitung dengan persamaan di bawah ini.

Menghitung konstanta (b) :

$$b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{(849,3 \times 1619,81) - (121,9 \times 9204,92)}{(11 \times 1619,81) - (14859,61)}$$

$$b = \frac{1375704,633 - 1122079,748}{2958,3}$$

$$b = 85,733$$

Menghitung koefisien regresi (a)

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(11 \times 9204,92) - (121,9 \times 849,3)}{(11 \times 1619,81) - (14859,61)}$$

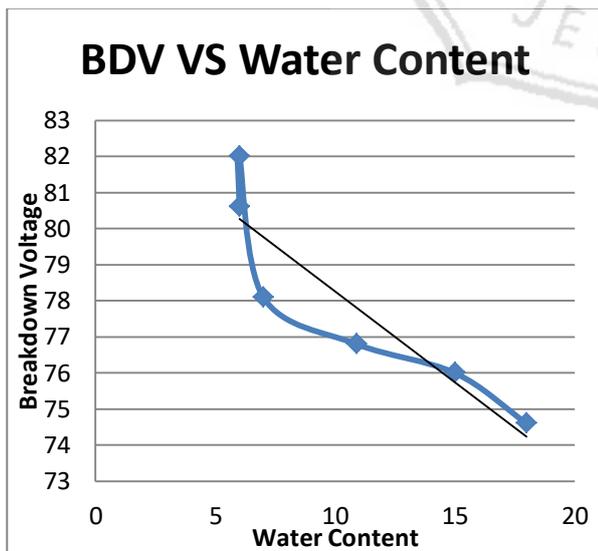
$$a = 0,7692$$

Persamaan Regresi Linear :

$$Y = 0,7692 X + 85,733$$

Dari perhitungan di atas didapatkan persamaan garis yang menghubungkan kedua parameter tersebut.

Analisis terkait hubungan kedua parameter tersebut berdasarkan pada dua hal, yaitu grafik BDV dan Water Content dan hasil perhitungan dari analisis koefisien korelasi. Berikut adalah hasil grafik BDV dan Water Content dari pengujian yang dilakukan.



Gambar 4.3 Kurva Nilai Water Content vs BDV sampel no 1 - 6

Berdasarkan hasil grafik di atas, dapat terlihat bahwa hasil penggambaran BDV dan Water Content memberikan data secara linear. Nilai R yang besar,

bernilai **-0,88** menunjukkan data yang baik untuk ditarik *trendline* secara linier. Perhitungan koefisien korelasi dilakukan untuk parameter BDV dan Water Content dengan persamaan dan sample uji yang sama.

Untuk kedua parameter ini, nilai koefisien yang didapat ialah **-0.88**. Nilai koefisien korelasi ini tergolong kategori sangat tinggi. Hal ini terbukti dengan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 dan menunjukkan korelasi yang sangat tinggi di antara kedua parameter tersebut (tegangan tembus dan water content).

#### 4.1.2 Analisa Korelasi Regresi Pengujian Water Content dan Temperature

Di bawah ini ialah tabel hasil pengolahan data pengujian analisis water content dan temperature yang menghasilkan nilai koefisien korelasi dari kedua parameter. Perbandingan kedua parameter ini dilakukan dengan mengambil sebelas sample uji yang tertera pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian BDV dan Water Content

No	Water Content	Temp	$x_i - x$	$y_i - y$	$(x_i - x)^2$	$(y_i - y)^2$	$(x_i - x)(y_i - y)$
1	6	53	-5,08	-1,82	25,82	3,31	9,24
2	6	53	-5,08	-1,82	25,82	3,31	9,24
3	7	54	-4,08	-0,82	16,66	0,67	3,34
4	10,9	55	-0,18	0,18	0,03	0,03	-0,03
5	15	55	3,92	0,18	15,35	0,03	0,71
6	18	57	6,92	2,18	47,86	4,76	15,09
7	6	52	-5,08	-2,82	25,82	7,94	14,32
8	7	52	-4,08	-2,82	16,66	7,94	11,50
9	11	55	-0,08	0,18	0,01	0,03	-0,01
10	15	58	3,92	3,18	15,35	10,12	12,47
11	20	59	8,92	4,18	79,53	17,49	37,29
Jum	121,9	603			268,94	55,64	113,16

Dari tabel 4.3 diatas didapatkan Perhitungan Korelasi antara water content terhadap temperature minyak transformator untuk menentukan nilai hubungan dari kedua parameter tersebut. Pada perhitungan sebelumnya sudah ditemukan bahwa water content mempengaruhi breakdown voltage, kemudian sekarang melakukan perhitungan apakah water content mempengaruhi temperature juga. Karena semakin banyak kandungan air pada minyak transformator menyebabkan kondisi minyak transformator menjadi cepat panas. Ini dikarenakan stuktur minyak dan air yang tidak bisa menyatu.

$$R = \frac{\sum (x_i - x)(y_i - y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2 \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2}}$$

$$= \frac{113,16}{\sqrt{268,94 \times 55,64}}$$

$$= \frac{113,16}{\sqrt{14963,82}}$$

$$= \frac{113,16}{122,32}$$

$$= 0,92$$

Persamaan Empiris Regresi linear antara water content dan temperature dihitung dengan persamaan di bawah ini.

Menghitung konstanta (b) :

$$b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{(603 \times 1619,81) - (121,9 \times 6795,5)}{(11 \times 1619,81) - (14859,61)}$$

$$b = \frac{976745,43 - 828371,45}{2958,3}$$

$$b = 50,155$$

Menghitung koefisien regresi (a)

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(11 \times 6795,5) - (121,9 \times 603)}{(11 \times 1619,81) - (14859,61)}$$

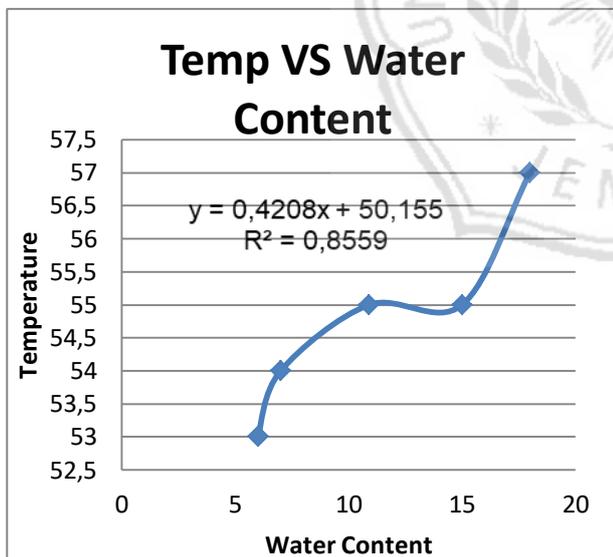
$$a = 0,42$$

Persamaan Regresi Linear :

$$Y = 0,42 X + 50,155$$

Dari perhitungan di atas didapatkan persamaan garis yang menghubungkan kedua parameter tersebut.

Analisis terkait hubungan kedua parameter tersebut berdasarkan pada dua hal, yaitu grafik Water Content vs Temperature dan hasil perhitungan dari analisis koefisien korelasi. Berikut adalah hasil grafik Water Content dan Temperature dari pengujian yang dilakukan.



**Gambar 4.4 Kurva Nilai Water Content vs Temperature sampel no 1 - 6**

Berdasarkan hasil grafik di atas, dapat terlihat bahwa hasil penggambaran Water Content dan Temperature memberikan data secara linear. Nilai R yang besar, bernilai 0,92 menunjukkan data yang baik untuk ditarik *trendline* secara linier. Perhitungan koefisien

korelasi dilakukan untuk parameter Water Content dan Temperature dengan persamaan dan sample uji yang sama.

Untuk kedua parameter ini, nilai koefisien yang didapat ialah 0,92. Nilai koefisien korelasi ini tergolong kategori sangat tinggi. Hal ini terbukti dengan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 dan menunjukkan korelasi yang sangat tinggi di antara kedua parameter tersebut (tegangan tembus dan water content).

#### 4.1.3 Analisa Korelasi Regresi Pengujian Water Content dan Waktu

Di bawah ini ialah tabel hasil pengolahan data pengujian analisis water content dan waktu minyak transformator operasi yang menghasilkan nilai koefisien korelasi dari kedua parameter. Pengujian koefisien korelasi antara water content dan juga waktu minyak transformator saat operasi dilakukan untuk mengetahui apakah waktu operasional minyak transformator dari waktu ke waktu mempengaruhi kenaikan dari water content. Karena saat minyak transformator kerja maka hubungan antara breakdown voltage, water content dan juga temperature minyak transformator sangat berpengaruh. Dari ketiga parameter tersebut akan di dapatkan *life time* dari minyak transformator tersebut. Perbandingan kedua parameter water content dan waktu minyak transformator operasi ini dilakukan dengan mengambil sebelas sample uji yang tertera pada tabel 4.4 di bawah ini.

**Tabel 4. 4 Hasil Pengujian BDV dan Water Content**

No	Water Content	Waktu (Bulan)	$x_i - x$	$y_i - y$	$(x_i - x)^2$	$(y_i - y)^2$	$(x_i - x)(y_i - y)$
1	6	1 (Apr-16)	-5,08	-17,64	25,82	311,04	89,62
2	6	6 (Sep-16)	-5,08	-12,64	25,82	159,68	64,22
3	7	9 (Des-16)	-4,08	-9,64	16,66	92,86	39,33
4	10,9	12 (Mar-17)	-0,18	-6,64	0,03	44,04	1,21
5	15	15 (Jun-17)	3,92	-3,64	15,35	13,22	-14,25
6	18	18 (Sep-17)	6,92	-0,64	47,86	0,40	-4,40
7	6	21 (Des-17)	-5,08	2,36	25,82	5,59	-12,01
8	7	24 (Mar-18)	-4,08	5,36	16,66	28,77	-21,89
9	11	31 (Okt-18)	-0,08	12,36	0,01	152,86	-1,01
10	15	33 (Des-18)	3,92	14,36	15,35	206,31	56,28
11	20	35 (Feb-19)	8,92	16,36	79,53	267,77	145,93
Jum	121,9	205			268,94	1282,55	343,03

Dari tabel 4.4 diatas didapatkan Perhitungan Korelasi antara water content terhadap waktu operasional minyak transformator untuk menentukan nilai hubungan dari kedua parameter tersebut. Pada perhitungan sebelumnya sudah ditemukan bahwa water content mempengaruhi breakdown voltage, kemudian sekarang melakukan perhitungan apakah waktu operasional mempengaruhi kenaikan nilai water content juga. Karena semakin lama waktu operasional minyak transformator

semakin banyak kandungan air pada minyak transformator..

$$R = \frac{\sum(xi-x)(yi-y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N(xi-x)^2 \sum_{i=1}^N(yi-y)^2}}$$

$$= \frac{343,03}{\sqrt{268,94 \times 1282,55}}$$

$$= \frac{343,03}{\sqrt{344928,997}}$$

$$= \frac{343,03}{587,3}$$

$$= 0,58$$

Persamaan Empiris Regresi linear antara water content dan waktu operasional minyak transformator dihitung dengan persamaan di bawah ini.

Menghitung konstanta (b) :

$$b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{(205 \times 1619,81) - (121,9 \times 2614,8)}{(11 \times 1619,81) - (14859,61)}$$

$$b = \frac{332061,05 - 318744,12}{2958,3}$$

$$b = 4,5$$

Menghitung koefisien regresi (a)

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(11 \times 2614,8) - (121,9 \times 205)}{(11 \times 1619,81) - (14859,61)}$$

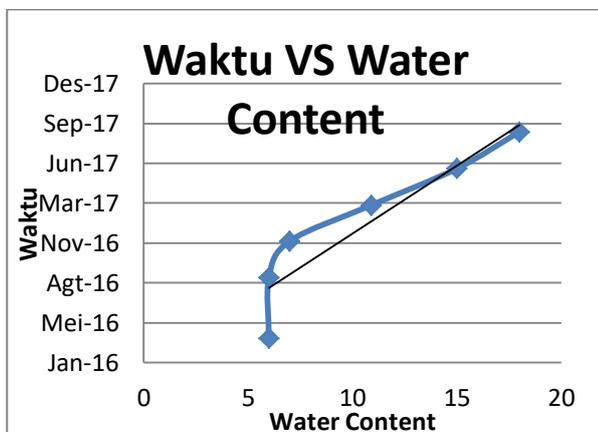
$$a = 1,275$$

Persamaan Regresi Linear :

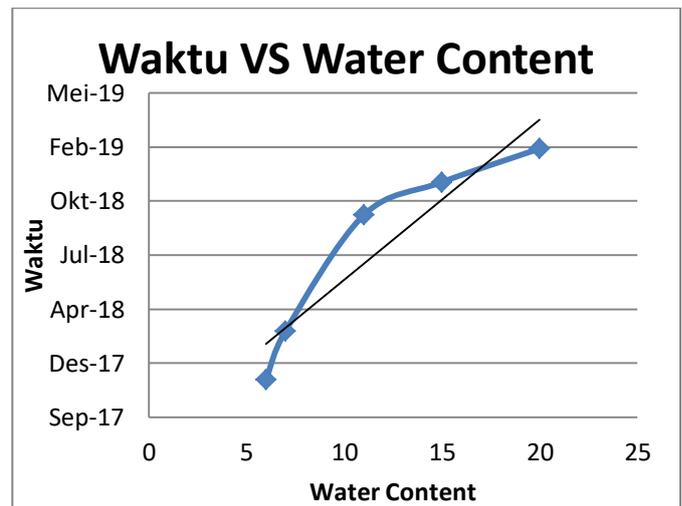
$$Y = 1,275 X + 4,5$$

Dari perhitungan di atas didapatkan persamaan garis yang menghubungkan kedua parameter water content dan waktu operasional minyak transformator tersebut.

Analisis terkait hubungan kedua parameter tersebut berdasarkan pada dua hal, yaitu grafik Water Content vs Waktu dan hasil perhitungan dari analisis koefisien korelasi. Berikut adalah hasil grafik Water Content dan Waktu dari pengujian yang dilakukan.



Gambar 4.5 Kurva Nilai Water Content vs Waktu dari April 2016 sampai September 2017



Gambar 4.6 Kurva Nilai Water Content vs Waktu dari Desember 2017 sampai Februari 2019

Untuk kedua parameter ini, nilai koefisien yang didapat ialah 0,58. Nilai koefisien korelasi ini tergolong kategori tinggi. Hal ini terbukti dengan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 dan menunjukkan korelasi yang tinggi di antara kedua parameter tersebut (tegangan tembus dan water content).

#### 4.1.2 Analisis Kondisi Minyak Transformator Berdasarkan Kedua Parameter

Dari kedua parameter yaitu Breakdown Voltage dan Water Content di dapatkan hasil analisa kondisi minyak transformator menurut tabel 4.5 di bawah ini.

Sample Minyak	Jenis Minyak	Rating Tegangan	Parameter Pengujian		Penilaian Kualitatif	
			Water Content	Breakdown Voltage	Water Content	Breakdown Voltage
1	Kunlun	650	6	80,6	Baik	Baik
2	Kunlun	650	6	82	Baik	Baik
3	Kunlun	650	7	78,1	Baik	Baik
4	Kunlun	650	10,9	76,8	Cukup Baik	Baik
5	Kunlun	650	15	76	Cukup Baik	Baik
6	Kunlun	650	18	74,6	Cukup Baik	Baik
7	Kunlun	650	6	79,8	Baik	Baik
8	Kunlun	650	7	81,2	Baik	Baik
9	Kunlun	650	11	79	Cukup Baik	Baik
10	Kunlun	650	15	75,5	Cukup Baik	Baik
11	Kunlun	650	20	65,7	Cukup Baik	Baik

Tabel 4.5 Hasil Data Jenis Minyak dan Interpretasi Penilaian Kualitatif Data

Jenis minyak yang diujikan adalah minyak mineral, *Kunlun*. dengan fitur kinerja dan keuntungan antara lain stabilitas oksidasi yang baik, mempunyai suhu yang rendah pada saat digunakan, mempunyai karakteristik perpindahan panas yang baik, dan mempunyai sifat anti korosif.

Dari sebelas sampel minyak transformator yang diujikan, dilakukan penilaian kondisi minyak transformator berdasarkan ketiga parameter pengujian. Setiap parameter pengujian mengeluarkan suatu hasil kondisi secara kualitatif. Dari ketiga hasil kondisi setiap parameternya disimpulkan suatu hasil kondisi akhir dari kondisi minyak transformator.

Hasil pengujian kandungan air sampel minyak pertama adalah sebesar 6 ppm. Dengan rating tegangan transformator 650 kV, mengacu pada tabel 3.3, nilai kandungan air sebesar 6 ppm masuk dalam kategori "*Baik*". Kondisi "*Baik*" artinya kondisi minyak transformator masih ada pada keadaan yang baik. Selain itu, perlu juga dilakukan pengecekan terhadap parameter uji lainnya seperti tegangan tembus (breakdown voltage) dan parameter-parameter uji lainnya. Untuk pengujian tegangan tembus, hasil dari pengujiannya adalah sebesar 80,6 kV. Dengan rating tegangan transformator 650Kv, nilai tegangan tembus sebesar 80,6 kV masuk dalam kategori "*Baik*". Kondisi "*Baik*" artinya kondisi minyak transformator masih ada dalam keadaan normal. Namun tetap perlu dilakukan sampling secara berkala untuk terus memantau kondisi minyak transformator.

Adapun hasil pengujian kandungan air sampel minyak keenam adalah sebesar 18 ppm. Dengan rating tegangan transformator 650 kV, mengacu pada tabel 3.3, nilai kandungan air sebesar 18 ppm masuk dalam kategori "*Cukup Baik*". Kondisi "*Cukup Baik*" artinya kondisi minyak transformator masih ada pada keadaan yang cukup baik, namun kerusakan minyak transformator sudah terdeteksi dan dianjurkan untuk melakukan sampling yang lebih sering. Selain itu, perlu juga dilakukan pengecekan terhadap parameter uji lainnya seperti tegangan tembus (breakdown voltage) dan parameter-parameter uji lainnya. Untuk pengujian tegangan tembus, hasil dari pengujiannya adalah sebesar 74,6 kV. Dengan rating tegangan transformator 650 Kv, nilai tegangan tembus sebesar 74,6 kV masuk dalam kategori "*Baik*". Kondisi "*Baik*" artinya kondisi minyak transformator masih ada dalam keadaan normal. Namun tetap perlu dilakukan sampling secara berkala untuk terus memantau kondisi minyak transformator.

Dari pengujian tersebut didapatkan nilai water content yang cenderung naik signifikan ketimbang nilai breakdown voltage. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ketika water content mulai naik, harus segera dilakukan pengujian minyak transformator dengan pengujian lainnya karena indikasi awal yang paling menonjol yaitu ketika tes rutin pengujian water content ketimbang breakdown voltage yang nilainya cenderung dalam kondisi baik dan aman.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran, pengujian dan analisa Water Content serta Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi Transformator di PT.PLTU Paiton 9 maka Penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut :

1. Kenaikan water content berbanding terbalik dengan kenaikan breakdown voltage minyak isolasi dengan korelasi positif yang kuat  $r = 0,88$ , dengan kata lain semakin besar water content pada trafo, semakin kecil nilai breakdown voltage minyak isolasinya .

2. Kenaikan Suhu minyak isolasi berbanding lurus dengan kandungan air (water content) minyak isolasi dengan korelasi positif yang kuat  $r = -0,92$ , dengan kata lain semakin tinggi Suhu minyak isolasi, semakin tinggi nilai kandungan air pada transformator.

3. Dari analisa korelasi hubungan kenaikan Water Content dengan Kekuatan Dielektrik (Tegangan Tembus) diperoleh suatu grafik yang linier .  $y = -0,7692x + 85,733$  dengan nilai  $r = -0,88$  dan  $R^2 = 0,7766$ .

### 5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan yaitu,

1. Untuk menghindari terjadinya kerusakan pada transformator, sebaiknya ketika suhu mulai naik dan juga water content mulai naik, harap segera dilakukan pengecekan-parameter parameter lainnya untuk di compare apa diperlukan penanganan-penanganan khusus pada minyak transformator

2. Untuk minyak isolasi transformator sebaiknya dilakukan pengujian sebelum digunakan pada transformator agar dapat mengetahui batas tegangan tembusnya.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Saprianto, Firdaus. *Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi Transformator 6,6kV/380V di PT. INTIBENUA PERKASATAMA Dumai*. Riau : Universitas Riau. 2016.
- [2] Simamora, Jonathan Fritz. *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator*. Depok : Universitas Indonesia. Juni 2012.
- [3] Nusantara, PT. Sanggadelima. *Instruksi Kerja Penggunaan Alat Ukur Water Content*. Jakarta. Juni 2010. ASTM D-974 Standard. *Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration*. 2007
- [4] IEC Standard 60422-2005. *Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment- Supervision and Maintenance Guidance*. 2005.
- [5] ASTM D-1816 Standard. *Dielectric Breakdown Voltage Testing*. 2005.