

Analisis Pengaruh Harmonik terhadap Peningkatan Temperatur pada Trafo Distribusi 3 Fasa 400 kVA di Fakultas Teknik Universitas Riau.

Tumpak Dolok Stepan Simarmata*, Firdaus**

*Alumni 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: Tumpak.smt22@gmail.com

ABSTRACT

Distribution transformer has an important role in the distribution of electric power in a distribution system. So that the transformer can operate with both the condition of the transformer must be in a stable condition. One of the things that can damage the transformer is non-linear load, such as computers, printers, air conditioning (AC) equipment lab in every department and equipment other electronics that may cause harmonic on the network power systems, content of harmonic high can cause a condition of distribution transformer overheats and if not treated immediately will cause transformer life time becomes shorter. This study aims to determine the harmonic correlation to the increase of temperature on the distribution transformer in the Faculty of engineering University of Riau.

Keywords : Non Linear, Harmonic, correlation

1. Pendahuluan

Transformator selalu terpengaruh oleh harmonisa karena trafo itu sendiri dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya. Selain itu, transformator juga merupakan media utama pembangkit dengan beban. Frekuensi harmonisa yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya. Fakultas Teknik Universitas Riau dalam rangka mendukung tercapainya kompetensi yang telah ditetapkan oleh masing- masing program studi maka disediakan sarana dan prasarana laboratorium yang memadai. Sebagian besar peralatan listrik yang dipergunakan di Fakultas Teknik Universitas Riau adalah peralatan listrik yang termasuk beban *non linier* seperti : komputer, *printer*,

pendingin ruangan (AC), peralatan praktikum di laboratorium masing-masing jurusan dan peralatan-peralatan elektronik lainnya yang dapat menyebabkan trafo mengalami pemanasan berlebih walaupun beban belum nominal. Hal ini diakibatkan karena meningkatnya rugi-rugi pada trafo yaitu rugi beban (P_{LL}), rugi I^2R , rugi *eddy current* serta rugi lainnya.

Dikarenakan oleh beban non linier sehingga menimbulkan bentuk gelombang arus tidak sinusoidal walaupun disuplai dengan tegangan sinusoidal. Hal inilah yang dinamakan harmonik. Tingginya Kadar harmonik pada sistem tenaga listrik tidak dikehendaki karena dapat merugikan dan dianggap sebagai gangguan dalam sistem tenaga listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi antara harmonik dan temperatur pada trafo distribusi 3 fasa 400 kVA di Fakultas Teknik Universitas Riau.

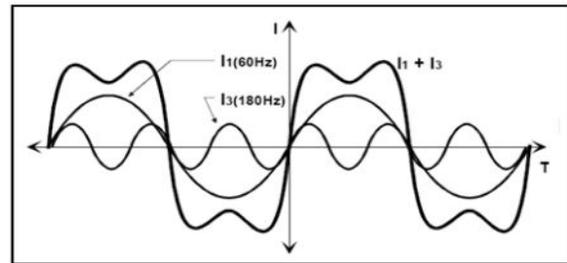
1. Landasan Teori

2.1 Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang timbul akibat distorsi antara gelombang arus dan tegangan. Harmonisa merupakan fenomena yang timbul dari pengoperasian beban listrik yang sebagian besar diakibatkan dari beban non-linear, dimana akan terbentuk gelombang yang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Sumber utama harmonisa adalah beban non-linear yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan maka arus listrik yang dihasilkan tidaklah berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan sehingga beban non-linear tidaklah mematuhi hukum ohm. Gelombang arus listrik yang dihasilkan oleh beban non-linear tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (distorsi). (Hotbe Hasugian dan Panusur SML. Tobing, 2014)

Jika frekuensi fundamental adalah f maka frekuensi harmonik orde ke “ n ” adalah $n \times f$. Biasanya istilah harmonik ini digunakan untuk mendefinisikan distorsi gelombang sinus arus dan tegangan pada amplitudo dan frekuensi yang berbeda. Gelombang yang terdistorsi terdiri dari beberapa harmonik, dan harmonik yang pertama dikenal sebagai frekuensi dasar atau fundamental. Selanjutnya harmonik dengan kelipatan ganjil disebut sebagai harmonik ganjil dan harmonik dengan kelipatan genap disebut harmonik genap. Gambar 1 menunjukkan gelombang arus yang merupakan penjumlahan antara gelombang fundamental dengan gelombang

harmonik orde ke 3 dengan beda fasa 180° . (Akhmad Jamaah, 2013)



Gambar 1 Gelombang Fundamental Terdistorsi Oleh Harmonik Ke 3.

(Sumber : Akhmad Jamaah,2013)

Distorsi harmonik disebabkan karena adanya beban non-linear dalam sistem tenaga. Beban non-linear adalah jenis peralatan listrik yang berperilaku dapat mengubah bentuk gelombang arus atau tegangan menjadi bentuk tertentu yang tidak sinusoidal, contohnya: komputer, *printer*, peralatan listrik dengan *switching* elektronik, Lampu Hemat Energi (LHE) dan *Florescent Lamp* (FL) dengan balas elektronik. Dalam analisis harmonik ada beberapa indeks penting yang digunakan untuk menggambarkan pengaruh harmonik terhadap sistem tenaga listrik yaitu THD (*Total Harmonic Distortion*) dan TDD (*Total Demand Distortion*). Perbandingan nilai komponen harmonik dengan komponen fundamental biasanya dinyatakan dalam persen, indeks ini disebut dengan THD (*Total Harmonic Distortion*). THD biasanya digunakan untuk menyatakan bentuk penyimpangan bentuk gelombang arus dan tegangan yang mengandung harmonik terhadap gelombang sinusoidal murni dalam satu periode. (Akhmad Jamaah, 2013)

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{THDi} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan :

V_1 dan I_1 adalah komponen fundamental tegangan dan arus

V_h dan I_h adalah komponen harmonik dari tegangan dan arus.

Persamaan (1) dan (2) merupakan persamaan untuk menentukan nilai THD tegangan dan arus. Kontribusi masing-masing komponen harmonik terhadap distorsi arus dan tegangan dinyatakan oleh IHD (*Individual Harmonic Distortion*). Nilai IHD untuk harmonik arus dan tegangan pada orde ke-n didefinisikan sebagai berikut (Akhmad Jamaah, 2013)

$$\frac{V_h}{V_1} \text{ dan } \frac{I_h}{I_1} \quad (3)$$

TDD merupakan distorsi harmonik arus total yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad (4)$$

Terdapat dua cara untuk mengukur I_L , pertama yaitu pada beban yang telah terpasang pada sistem lalu dihitung nilai rata-rata dari arus beban maksimum dari 12 bulan sebelumnya. Sedangkan untuk sistem yang baru, I_L harus diperkirakan berdasarkan profil beban yang akan dipasang. nilai I_L dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Robby Dhavitra, 2014) :

$$I_L = \frac{kW}{PF \sqrt{3}kV} A \quad (5)$$

Keterangan:

kW = permintaan rata-rata kilowatt

PF = rata-rata faktor daya

kV = tegangan line-to-line di PCC

2.2 Rugi-rugi akibat Harmonisa pada Transformator.

Transformator dirancang untuk menyalurkan daya yang dibutuhkan ke beban dengan rugi-rugi minimum pada frekuensi fundamentalnya. Arus dan tegangan harmonisa secara signifikan akan menyebabkan panas lebih. Ada dua pengaruh yang ditimbulkan panas lebih pada transformator ketika arus beban mengandung komponen harmonisa. (Tohar Suhartono, 2011)

a. Harmonisa arus menyebabkan meningkatnya rugi-rugi tembaga yang dinyatakan dengan :

$$P_{CU} = \sum_{n=1}^{\infty} I_N^2 \cdot R_N \quad (6)$$

Dimana:

P_{CU} = rugi-rugi tembaga (watt)

I_n = arus pada belitan trafo (A)

R_n = resistansi belitan trafo (Ω)

b. Harmonisa tegangan menyebabkan meningkatnya rugi-rugi besi, seperti arus pusar dan rugi-rugi *hysteresis*. *Eddy current* (arus pusar) terjadi apabila inti dari sebuah material jenis ferromagnetik (besi) secara elektrik bersifat konduktif. Kosentrasi arus pusar lebih tinggi pada ujung-ujung belitan transformator karena efek kerapatan medan magnet bocor pada kumparan yang menyebabkan fenomena terjadinya arus pusar.

Bertambahnya rugi-rugi arus pusar karena harmonisa berpengaruh pada temperature kerja transformator yang terlihat pada besar rugi-rugi daya nyata (watt) akibat arus pusar tersebut. (Tohar Suhartono, 2011)

$$P_{EC} = P_{EC-R} \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \cdot h^2 \quad (7)$$

Dimana:

h = bilangan bulat orde harmonisa

P_{EC} = rugi-rugi arus pusar

P_{EC-R} = faktor rugi-rugi arus pusar (ANSI/IEEE standard C57; $P_{EC-R} = 1\%$)

I_h = arus rms harmonisa ke- h

2.3 Standar Batas Distorsi Tegangan dan Arus

Batas atau standar untuk besarnya tegangan dan arus harmonik yang diijinkan disesuaikan dengan standard IEEE 519-1992. (Akhmad Jamaah. 2013)

Tabel 1. Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan

Bus Voltage at PCC, $V_n(kV)$	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THDv (%)
$V \leq 69kV$	3.00	5.00
$69kV < V \leq 161kV$	1.50	2.50
$V > 161kV$	1.00	1.50

Sumber: IEEE Standar 519-1992

Tabel 2. Batas Distorsi Arus Menurut Standar IEEE 519-1992

$V_n \leq 69kV$						
I_{sc}/I_L	<11	11≤h≤17	17≤h≤23	23≤h≤25	35≤h	TDD(%)
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69kV < V_n \leq 161kV$						
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 69kV$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥50	3.30	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Sumber: IEEE Standar 519-1992

dengan :

I_{sc} = nilai maksimum arus hubung singkat

I_L = arus permintaan maksimum
h adalah orde harmonik

TDD = Total Demand Distortion (%)

Rasio I_{sc}/I_L adalah rasio arus hubung singkat yang ada pada *Point of Common Coupling* (PCC). Hubung singkat tiga fasa pada PCC dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Robby Dhavitra, 2014) :

$$I_{sc} = \frac{1000 \times MVA}{\sqrt{3}kV} A \quad (8)$$

Dimana MVA dan kV mewakili kapasitas hubung singkat tiga fasa dalam megavoltampere dan tegangan line-to-line di PCC.

1.4 Korelasi

Uji Korelasi bertujuan agar mengetahui arah dan kekuatan hubungan antara variabel numerik dan numerik. Dalam

hal ini untuk mengetahui hubungan THD dan temperatur pada trafo. (Sondang Lucia anggreini Sinurat. 2013)

Arah hubungan dalam korelasi ada dua yaitu :

1. Bila kenaikan suatu variabel diikuti oleh kenaikan variabel lain, arah ini disebut arah positif.
2. Bila kenaikan ini diikuti penurunan oleh variabel lain, ini disebut arah negatif.

Untuk mengetahui korelasi pada uji parametric digunakan Koefisien Korelasi Pearson (r) .

Dengan rumus sebagai berikut :

$$r = \frac{(n \sum XY) - (\sum X \sum Y)}{\sqrt{[(n \sum X^2) - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (9)$$

Keterangan :

- n = banyak sampel
 X = variabel independen (predictor)
 Y = Variabel dependen (outcome)

Nilai “r” berkisar antara 0,0 yang berarti tidak ada korelasi sampai dengan 1,0 yang berarti adanya korelasi yang sempurna . Semakin kecil nilai “r” semakin lemah korelasi, sebaliknya semakin besar nilai “r” semakin kuat korelasi.

Berikut pembagian kekuatan korelasi menurut Colton :

- r = 0,00 – 0,25 (tidak ada hubungan/ hubungan lemah)
 r = 0,26 – 0,50 (hubungan sedang)
 r = 0,51 – 0,75 (Hubungan kuat)
 r = 0,76 – 1,00 (hubungan sangat kuat/sempurna) (Sondang Lucia anggreini Sinurat. 2013)

3. Metode Penelitian

3.1 Analisis Data Pengukuran

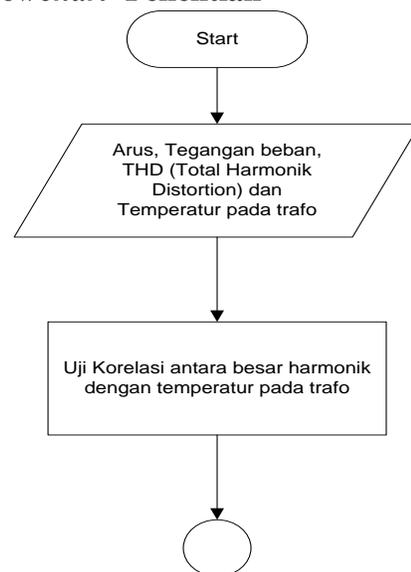
Data yang diperoleh dikumpulkan yang selanjutnya akan diolah dan dianalisis. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode komparasi antara hasil

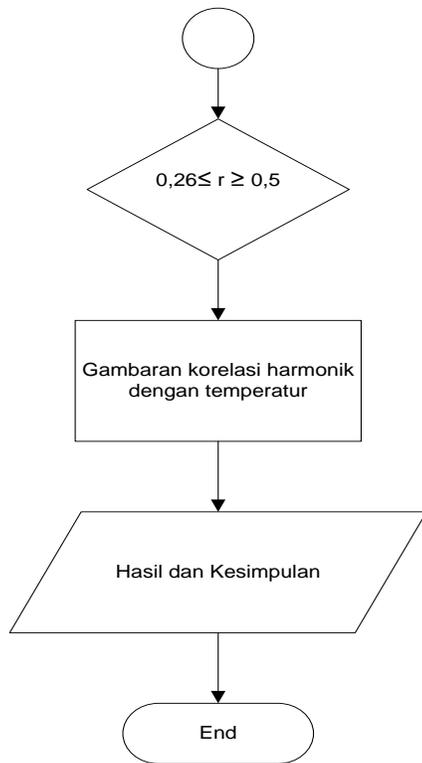
pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 serta korelasi antara pengaruh harmonik terhadap temperature pada trafo distribusi tiga fasa di Fakultas Teknik.

3.2 Peralatan Penelitian

1. Transformator 3 Fasa, produk PT. Morawa Elektrik Transbuana Medan, 400 kVA, 20 kV, 231/400 V, DyN5, Impedansi 4%, Standar IEC76, Tahun Pembuatan 2001, Indonesia.
2. *Power Quality Analyzer* KEW 6310 Ver. 2.00 produk Kyoritsu Electrical Instrument Works, LTD. Tokyo, Japan.
3. *Clamp sensor* M-8125, *range measures : 500A type* (Ø 40mm), peralatan ini digunakan untuk sensor arus beban
4. *Voltage test lead*, M-7141 : 1 set (*blue, green, red, black*) peralatan ini digunakan untuk mengukur tegangan beban.
5. Non-Contact Infrared Thermometer, measuring range - 50⁰C-330⁰ C(-58⁰ F-626⁰F). Peralatan ini dipergunakan untuk mengukur suhu trafo.

3.3 Flowchart Penelitian





Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tabel 3. Data Pengukuran THD dan suhu pada trafo 1

hari, tanggal	Waktu (WIB)	Irms			THDv(%)			THDi(%)			Suhu Trafo °C
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	
Senin 02-Nov-15	11.54	162.6	232.0	216.9	2.961	2.193	2.258	4.573	3.978	4.718	45.80
	12.03	163.1	234.4	207.1	2.901	2.047	2.351	4.255	3.925	4.520	45.90
	13.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.11	156.7	209.5	232.9	2.912	2.013	2.359	3.961	3.762	4.043	42.80
	16.00	133.0	189.6	194.2	3.026	2.082	2.223	3.640	4.162	4.668	43.30
	16.00	133.0	189.6	194.2	3.026	2.082	2.223	3.640	4.162	4.668	43.30
Selasa 03-Nov-15	9.15	152.8	203.1	207.0	2.697	2.026	2.232	3.759	3.567	4.340	44.10
	10.00	181.0	227.7	214.3	2.600	1.900	2.100	3.800	3.700	4.800	44.70
	11.08	172.2	235.9	255.8	2.789	2.068	2.178	3.711	4.376	4.160	46.60
	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.02	162.3	271.6	270.3	2.497	1.789	1.869	3.542	4.185	3.386	43.70
	14.05	174.5	258.5	250.4	2.548	1.963	1.934	3.192	3.831	3.932	46.20
	15.00	168.0	240.0	209.1	2.999	2.748	2.795	5.771	6.064	5.907	48.60
16.07	144.1	190.2	201.6	2.769	2.343	2.397	5.117	5.728	5.086	49.60	
Rabu 04-Nov-15	9.19	138.1	211.1	216.1	2.798	1.933	2.286	3.528	3.745	4.527	42.80
	10.03	170.8	219.1	237.3	2.775	2.051	2.260	3.864	3.932	4.351	42.40
	11.07	155.3	237.5	254.4	2.823	2.169	2.256	4.386	4.277	4.237	44.10
	12.00	156.2	210.7	225.8	2.810	2.172	2.095	3.590	4.338	5.059	46.60
	13.12	164.3	224.8	235.1	2.964	2.066	2.285	4.229	3.920	4.618	47.90
	14.04	193.8	237.0	228.2	3.046	2.159	2.348	3.504	3.935	4.682	48.90
	15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kamis 05-Nov-15	9.05	153.2	192.6	184.7	2.750	2.140	2.170	3.460	3.190	4.110	43.20
	10.01	144.7	191.2	234.6	2.840	2.210	2.200	3.060	3.390	4.050	44.10
	11.04	151.7	217.4	233.2	2.860	2.290	2.320	2.830	3.380	4.110	45.70
	12.02	162.5	202.1	219.7	2.910	2.470	2.420	3.550	3.130	5.190	47.30
	13.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.12	174.3	210.6	217.5	2.550	1.850	1.750	2.910	3.580	4.560	42.70
16.01	166.4	175.4	187.5	2.490	2.120	2.100	3.660	4.050	5.740	43.40	
Jumat 06-Nov-15	9.38	140.2	224.0	211.8	2.745	2.049	2.195	3.796	4.409	5.193	43.80
	10.04	155.2	217.8	198.0	2.799	2.402	2.185	3.628	4.709	4.554	43.40
	11.12	157.7	217.8	204.4	2.577	2.381	2.109	4.212	4.624	5.307	45.20
	12.04	125.5	153.4	154.2	2.628	2.387	2.078	4.678	5.360	5.222	45.00
	13.09	129.0	146.9	168.2	2.683	2.269	2.041	4.987	5.139	5.357	46.30
	14.03	141.0	163.8	188.9	2.710	2.249	2.276	4.559	4.975	5.009	46.50
	15.07	169.2	170.0	167.3	2.681	2.140	2.339	4.729	4.624	5.532	47.40
16.00	119.0	164.3	162.0	2.643	2.238	2.076	5.571	5.256	5.859	47.30	

Tabel 4 Data Pengukuran THD dan suhu pada trafo 2.

hari tanggal	Waktu (WIB)	I rms			THD _v (%)			THD _i (%)			Suhu Trafo °C
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	
Senin 02-Nov-15	11.48	195.8	237.8	227.3	2.990	2.027	2.123	4.863	4.423	4.417	50.20
	12.10	188.3	234.1	222.9	2.928	1.978	2.202	4.677	3.978	4.585	51.70
	13.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.06	162.5	223.2	228.3	2.882	1.989	2.277	4.924	4.351	4.199	43.70
	16.06	136.1	193.5	204.0	3.032	2.264	2.334	3.813	4.443	4.640	44.80
Selasa 03-Nov-15	9.20	164.8	218.0	228.9	2.599	1.781	2.099	4.130	3.711	4.903	49.10
	10.06	181.3	241.2	236.2	2.623	1.909	2.152	3.950	3.755	4.453	46.60
	11.02	189.1	244.0	275.2	2.979	2.332	2.379	3.589	4.218	3.394	51.30
	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.08	199.4	277.0	299.8	2.632	2.049	2.154	2.794	3.885	3.371	46.40
	14.00	185.2	265.5	244.1	2.497	1.978	2.078	3.408	3.881	3.604	48.90
Rabu 04-Nov-15	11.04	166.8	242.5	205.6	3.059	2.732	2.835	5.534	5.975	6.136	51.20
	12.05	160.9	207.2	245.4	2.896	2.136	2.276	3.735	4.201	4.769	51.10
	13.08	186.5	237.7	235.5	3.273	2.401	2.573	3.867	3.981	4.579	51.90
	14.11	189.8	231.0	264.3	2.938	2.008	2.258	3.515	4.404	4.804	52.70
	15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kamis 05-Nov-15	9.00	147.4	194.1	198.6	2.740	2.140	2.150	3.180	3.380	4.110	48.00
	10.06	158.2	200.7	245.7	2.650	2.120	2.020	3.370	3.550	3.980	49.30
	11.00	167.3	212.3	237.1	2.770	2.110	2.110	2.920	3.580	4.640	50.50
	12.08	163.6	215.1	245.6	2.700	2.140	2.080	3.390	3.300	4.640	51.30
	13.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumat 06-Nov-15	15.07	115.6	123.1	111.2	2.640	1.910	1.920	3.560	4.260	4.350	45.20
	16.05	164.0	176.0	197.5	2.510	0.667	2.020	3.600	4.130	5.170	46.60
	9.33	144.5	222.1	201.6	2.783	1.961	2.148	4.206	4.533	5.338	47.70
	10.08	140.3	231.0	207.9	2.896	2.511	2.236	4.117	4.729	5.086	48.60
	11.04	165.1	235.2	203.2	2.493	2.177	2.027	4.224	4.744	5.173	50.80
	12.09	154.7	155.7	170.5	2.570	2.418	2.084	4.894	5.612	5.373	50.00
Sabtu 07-Nov-15	13.04	151.3	151.9	176.4	2.749	2.484	2.322	5.293	5.617	5.492	51.10
	14.08	155.6	168.3	196.8	2.773	2.353	2.379	4.849	5.343	4.854	51.70
	15.02	171.8	170.5	177.9	2.628	2.179	2.323	4.999	4.751	5.324	51.70
	16.04	139.6	152.9	166.3	2.816	2.370	2.269	5.947	5.614	6.164	51.70
	9.02	158.8	192.4	182.5	2.342	1.755	1.943	3.881	4.670	4.856	48.10
	10.07	170.6	215.4	217.4	2.603	2.214	2.162	4.054	4.514	4.684	49.60
07-Nov-15	11.01	176.1	235.8	229.2	2.559	1.903	2.097	4.676	4.430	5.051	50.60
	12.08	179.7	233.3	219.4	2.522	2.151	2.261	4.268	4.433	5.136	52.10
	13.06	192.5	218.7	225.7	2.293	1.791	1.817	4.405	4.283	4.745	52.70
	14.09	177.9	211.6	195.1	2.440	2.120	1.940	4.380	4.455	4.575	54.50
	15.01	175.7	195.6	217.8	2.451	2.030	1.900	4.986	4.777	4.541	54.80
	16.05	143.2	173.7	173.1	2.296	1.800	1.830	5.086	4.753	5.298	54.80

Tabel 5. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD_v dengan kenaikan Suhu pada fasa R

hari, tanggal	Fasa R	
	ΔTHD _v (%)	ΔSuhu(°C)
Senin, 02 November 2015	0.114	0.500
Selasa, 03 November 2015	0.189	1.900
	0.051	2.500
	0.451	2.400
Rabu, 04 November 2015	0.048	1.700
	0.154	1.300
	0.082	1.000
Kamis, 05 November 2015	0.090	0.900
	0.020	1.600
	0.050	1.600
Jumat, 06 November 2015	0.055	1.300
	0.027	0.200
Sabtu, 07 November 2015	0.069	1.300
	0.050	1.500
	0.015	0.400
	0.005	0.000

Tabel 6. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa R

No	X	Y		XY	X ²	Y ²
		THD _v (%)	R			
	suhu	R	R			V
1	0.114	0.500	0.057	0.013	0.250	
2	0.189	1.900	0.359	0.036	3.610	
3	0.051	2.500	0.128	0.003	6.250	
4	0.451	2.400	1.083	0.204	5.760	
5	0.048	1.700	0.082	0.002	2.890	
6	0.154	1.300	0.200	0.024	1.690	
7	0.082	1.000	0.082	0.007	1.000	
8	0.090	0.900	0.081	0.008	0.810	
9	0.020	1.600	0.032	0.000	2.560	
10	0.050	1.600	0.080	0.003	2.560	
11	0.055	1.300	0.071	0.003	1.690	
12	0.027	0.200	0.005	0.001	0.040	
13	0.069	1.300	0.090	0.005	1.690	
14	0.050	1.500	0.076	0.003	2.250	
15	0.015	0.400	0.006	0.000	0.160	
16	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	
Σ	1.470	20.100	2.432	0.310	33.210	

Perhitungan Korelasi antara THD_v fasa R dan suhu pada trafo 1.

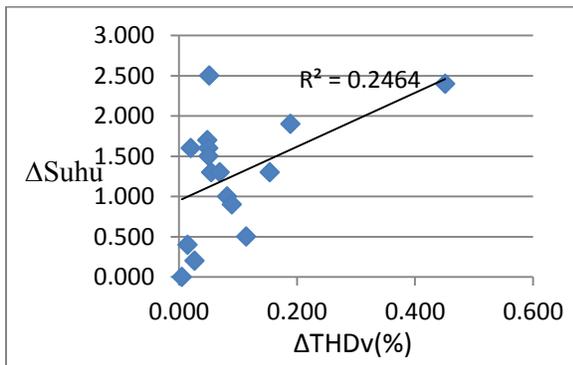
$$r = \frac{(n \sum XY) - (\sum X \sum Y)}{\sqrt{[(n \sum X^2) - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{(16 \times 2,432) - (1,470 \times 20,1)}{\sqrt{[(16 \times 0,31) - (1,470)^2] \times [16 \times 33,21 - (20,1)^2]}}$$

$$r = \frac{38,912 - 29,547}{\sqrt{[4,96 - 2,1609] \times [1531,36 - 404,01]}}$$

$$r = \frac{9,365}{18,88}$$

$$r = 0,496$$



Gambar 3. Grafik Δ THDv fasa R terhadap Δ Suhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 1.

Tabel 7. Hasil Perhitungan antara kenaikan THDi dengan kenaikan Suhu pada fasa S

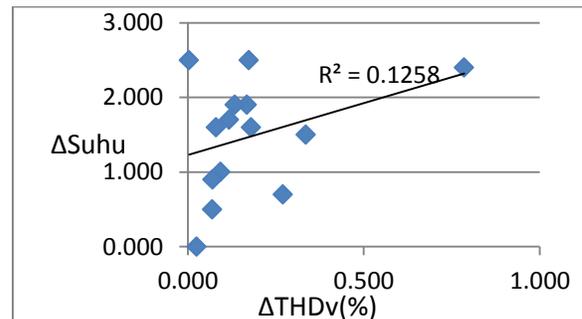
hari, tanggal	Fasa S	
	Δ THDv(%)	Δ Suhu(°C)
Senin, 02 November 2015	0.070	0.500
Selasa, 03 November 2015	0.168	1.900
	0.174	2.500
	0.785	2.400
Rabu, 04 November 2015	0.118	1.700
	0.004	2.500
	0.093	1.000
Kamis, 05 November 2015	0.070	0.900
	0.080	1.600
	0.180	1.600
Jumat, 06 November 2015	0.270	0.700
	-	-
Sabtu, 07 November 2015	0.134	1.900
	0.335	1.500
	0.025	0.000

Tabel 8 Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa S

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	subu	V	V		V
1	0.070	0.500	0.035	0.005	0.250
2	0.168	1.900	0.320	0.028	3.610
3	0.174	2.500	0.434	0.030	6.250
4	0.785	2.400	1.885	0.617	5.760
5	0.118	1.700	0.200	0.014	2.890
6	0.004	2.500	0.009	0.000	6.250
7	0.093	1.000	0.093	0.009	1.000
8	0.070	0.900	0.063	0.005	0.810
9	0.080	1.600	0.128	0.006	2.560
10	0.180	1.600	0.288	0.032	2.560
11	0.270	0.700	0.189	0.073	0.490
12	0.134	1.900	0.254	0.018	3.610
13	0.335	1.500	0.503	0.112	2.250
14	0.025	0.000	0.000	0.001	0.000
Σ	2.505	20.700	4.400	0.950	38.290

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,355$$



Gambar 4. Grafik Δ THDv fasa S terhadap Δ Suhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 1

Tabel 9. Hasil Perhitungan antara kenaikan THDv dengan kenaikan Suhu pada fasa T.

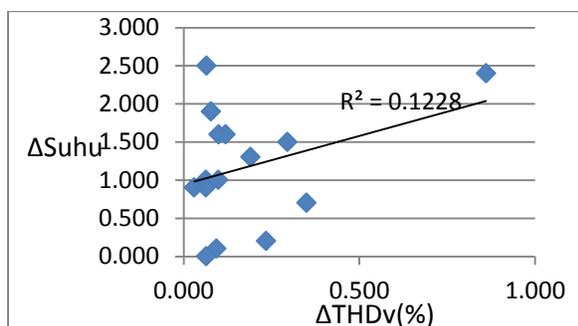
hari, tanggal	Fasa T	
	Δ THDv(%)	Δ Suhu(°C)
Senin, 02 November 2015	0.094	0.100
Selasa, 03 November 2015	0.078	1.900
	0.065	2.500
	0.861	2.400
Rabu, 04 November 2015	0.190	1.300
	0.064	1.000
Kamis, 05 November 2015	0.030	0.900
	0.120	1.600
	0.100	1.600
	0.350	0.700
Jumat, 06 November 2015	0.235	0.200
	0.063	0.900
Sabtu, 07 November 2015	0.099	1.000
	0.295	1.500
	0.064	0.000

Tabel 10. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa T

No	X	Y		XY	Y ²
		V	V		
	subu	T	T	X ²	V
1	0.094	0.100	0.009	0.009	0.010
2	0.078	1.900	0.148	0.006	3.610
3	0.065	2.500	0.163	0.004	6.250
4	0.861	2.400	2.066	0.741	5.760
5	0.190	1.300	0.247	0.036	1.690
6	0.064	1.000	0.064	0.004	1.000
7	0.030	0.900	0.027	0.001	0.810
8	0.120	1.600	0.192	0.014	2.560
9	0.100	1.600	0.160	0.010	2.560
10	0.350	0.700	0.245	0.123	0.490
11	0.235	0.200	0.047	0.055	0.040
12	0.063	0.900	0.057	0.004	0.810
13	0.099	1.000	0.099	0.010	1.000
14	0.295	1.500	0.443	0.087	2.250
15	0.064	0.000	0.000	0.004	0.000
Σ	2.707	17.600	3.966	1.108	28.840

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,350$$



Gambar 5. Grafik Δ THDv fasa T terhadap Δ Suhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 1

Tabel 11. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa R.

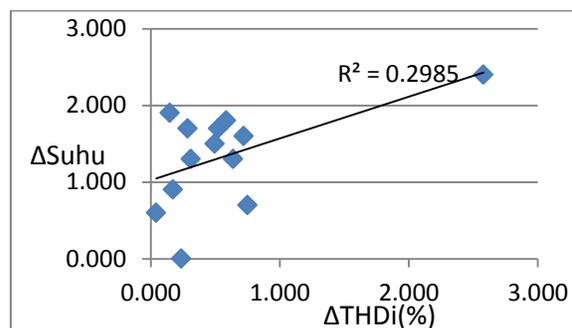
hari, tanggal	Fasa R	
	Δ THDi(%)	Δ Suhu(°C)
Senin, 02 November 2015	-	-
Selasa, 03 November 2015	0.041	0.600
	2.579	2.400
Rabu, 04 November 2015	0.522	1.700
	0.640	1.300
Kamis, 05 November 2015	0.720	1.600
	0.750	0.700
Jumat, 06 November 2015	0.584	1.800
	0.310	1.300
	0.171	0.900
Sabtu, 07 November 2015	0.284	1.700
	0.146	1.900
	0.495	1.500
	0.235	0.000

Tabel 12. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa R.

No	X	Y		XY	Y ²
		V	V		
	subu	T	T	X ²	V
1	0.041	0.600	0.025	0.002	0.360
2	2.579	2.400	6.190	6.653	5.760
3	0.522	1.700	0.888	0.273	2.890
4	0.640	1.300	0.831	0.409	1.690
5	0.720	1.600	1.152	0.518	2.560
6	0.750	0.700	0.525	0.563	0.490
7	0.584	1.800	1.052	0.341	3.240
8	0.310	1.300	0.402	0.096	1.690
9	0.171	0.900	0.154	0.029	0.810
10	0.284	1.700	0.484	0.081	2.890
11	0.146	1.900	0.277	0.021	3.610
12	0.495	1.500	0.743	0.245	2.250
13	0.235	0.000	0.000	0.055	0.000
Σ	7.478	17.400	12.723	9.286	28.240

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,546$$



Gambar 6. Grafik Δ THDi fasa R terhadap Δ Suhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 1

Tabel 13. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa S.

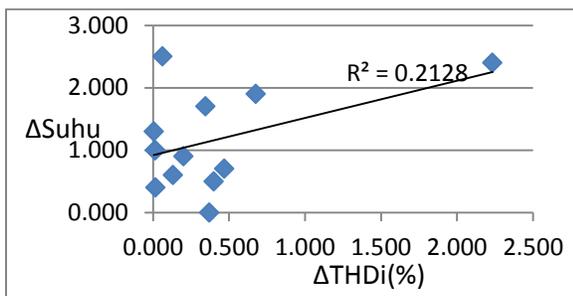
hari, tanggal	Fasa S	
	Δ THDi(%)	Δ Suhu(°C)
Senin, 02 November 2015	0.399	0.500
Selasa, 03 November 2015	0.133	0.600
	0.676	1.900
	2.233	2.400
Rabu, 04 November 2015	0.345	1.700
	0.062	2.500
	0.016	1.000
Kamis, 05 November 2015	0.200	0.900
	0.470	0.700
Jumat, 06 November 2015	-	-
Sabtu, 07 November 2015	0.006	1.300
	0.015	1.000
	0.016	0.400
	0.370	0.000

Tabel 14. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa S

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	suhu	V	V		V
1	0.399	0.500	0.200	0.159	0.250
2	0.133	0.600	0.080	0.018	0.360
3	0.676	1.900	1.284	0.457	3.610
4	2.233	2.400	5.359	4.986	5.760
5	0.345	1.700	0.586	0.119	2.890
6	0.062	2.500	0.155	0.004	6.250
7	0.016	1.000	0.016	0.000	1.000
8	0.200	0.900	0.180	0.040	0.810
9	0.470	0.700	0.329	0.221	0.490
10	0.006	1.300	0.007	0.000	1.690
11	0.015	1.000	0.015	0.000	1.000
12	0.016	0.400	0.007	0.000	0.160
13	0.370	0.000	0.000	0.137	0.000
Σ	4.940	14.900	8.216	6.141	24.270

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,461$$



Gambar 7. Grafik ΔTHDi fasa S terhadap ΔSuhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 1.

Tabel 15. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa T

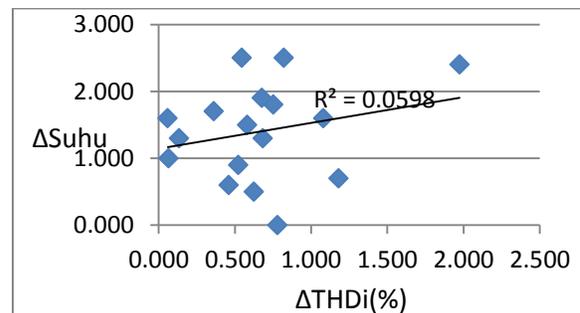
hari, tanggal	Fasa T	
	ΔTHDi(%)	ΔSuhu(°C)
Senin, 02 November 2015	0.625	0.500
Selasa, 03 November 2015	0.460	0.600
	0.547	2.500
	1.975	2.400
Rabu, 04 November 2015	0.822	2.500
	0.065	1.000
Kamis, 05 November 2015	0.060	1.600
	1.080	1.600
	1.180	0.700
Jumat, 06 November 2015	0.753	1.800
	0.135	1.300
	0.523	0.900
Sabtu, 07 November 2015	0.683	1.300
	0.362	1.700
	0.678	1.900
	0.581	1.500
	0.780	0.000

Table 16. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa T

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	suhu	T	V		T
1	0.625	0.500	0.312	0.390	0.250
2	0.460	0.600	0.276	0.212	0.360
3	0.547	2.500	1.366	0.299	6.250
4	1.975	2.400	4.739	3.899	5.760
5	0.822	2.500	2.056	0.676	6.250
6	0.065	1.000	0.065	0.004	1.000
7	0.060	1.600	0.096	0.004	2.560
8	1.080	1.600	1.728	1.166	2.560
9	1.180	0.700	0.826	1.392	0.490
10	0.753	1.800	1.356	0.567	3.240
11	0.135	1.300	0.176	0.018	1.690
12	0.523	0.900	0.471	0.273	0.810
13	0.683	1.300	0.888	0.466	1.690
14	0.362	1.700	0.616	0.131	2.890
15	0.678	1.900	1.287	0.459	3.610
16	0.581	1.500	0.871	0.337	2.250
17	0.780	0.000	0.000	0.608	0.000
Σ	11.306	23.800	17.127	10.902	41.660

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,244$$



Gambar 8. Grafik ΔTHDi fasa T terhadap ΔSuhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 1

Tabel 17. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa R

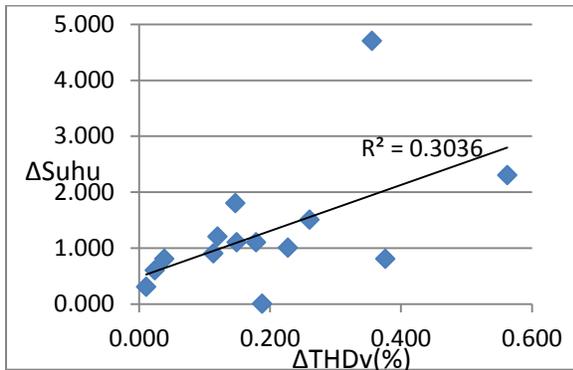
hari, tanggal	Fasa R	
	ΔTHDv(%)	ΔSuhu(°C)
senin, 02 November 2015	0.149	1.100
Selasa, 03 November 2015	0.356	4.700
	0.562	2.300
Rabu, 04 November 2015	0.227	1.000
	0.039	0.800
	0.376	0.800
Kamis, 05 November 2015	0.120	1.200
Jumat, 06 November 2015	0.114	0.900
	0.179	1.100
	0.024	0.600
	0.188	0.000
Sabtu, 07 November 2015	0.261	1.500
	0.147	1.800
	0.011	0.300

Tabel 18. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa R

No	X	Y		X ²	Y ²
	suhu	V	V		
		T	T		T
1	0.149	1.100	0.164	0.022	1.210
2	0.356	4.700	1.673	0.127	22.090
3	0.562	2.300	1.293	0.316	5.290
4	0.227	1.000	0.227	0.052	1.000
5	0.039	0.800	0.031	0.001	0.640
6	0.376	0.800	0.301	0.142	0.640
7	0.120	1.200	0.144	0.014	1.440
8	0.114	0.900	0.102	0.013	0.810
9	0.179	1.100	0.197	0.032	1.210
10	0.024	0.600	0.014	0.001	0.360
11	0.188	0.000	0.000	0.035	0.000
12	0.261	1.500	0.391	0.068	2.250
13	0.147	1.800	0.265	0.022	3.240
14	0.011	0.300	0.003	0.000	0.090
Σ	2.753	18.100	4.807	0.845	40.270

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,551$$



Gambar 9. Grafik ΔTHDv fasa R terhadap ΔSuhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 2.

Tabel 19. Hasil Perhitungan antara THDv dengan Suhu pada fasa S

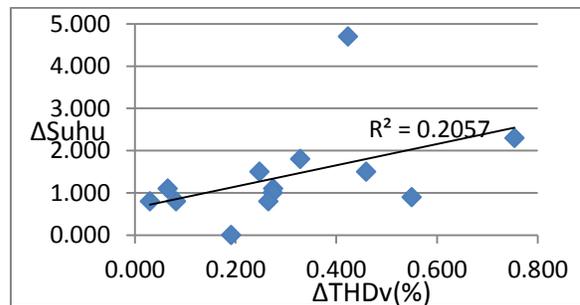
hari, tanggal	Fasa S	
	ΔTHDv(%)	ΔSuhu(°C)
senin, 02 November 2015	0.275	1.100
Selasa, 03 November 2015	0.423	4.700
	0.754	2.300
Rabu, 04 November 2015	0.274	1.000
	0.082	0.800
	0.266	0.800
Kamis, 05 November 2015	0.030	0.800
Jumat, 06 November 2015	0.550	0.900
	0.065	1.100
	0.192	0.000
Sabtu, 07 November 2015	0.460	1.500
	0.248	1.500
	0.329	1.800

Tabel 20. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa T

No	X	Y		X ²	Y ²
	suhu	V	V		
		S	S		S
1	0.275	1.100	0.302	0.076	1.210
2	0.423	4.700	1.990	0.179	22.090
3	0.754	2.300	1.734	0.569	5.290
4	0.274	1.000	0.274	0.075	1.000
5	0.082	0.800	0.066	0.007	0.640
6	0.266	0.800	0.212	0.071	0.640
7	0.030	0.800	0.024	0.001	0.640
8	0.550	0.900	0.495	0.303	0.810
9	0.065	1.100	0.072	0.004	1.210
10	0.192	0.000	0.000	0.037	0.000
11	0.460	1.500	0.689	0.211	2.250
12	0.248	1.500	0.372	0.061	2.250
13	0.329	1.800	0.591	0.108	3.240
Σ	3.947	18.300	6.822	1.701	41.270

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,454$$



Gambar 10. Grafik ΔTHDv fasa S terhadap ΔSuhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 2.

Tabel 21. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa T

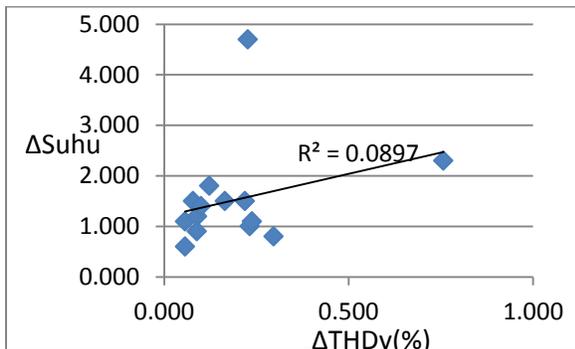
hari, tanggal	Fasa T	
	ΔTHDv(%)	ΔSuhu(°C)
senin, 02 November 2015	0.079	1.500
	0.057	1.100
Selasa, 03 November 2015	0.227	4.700
	0.757	2.300
Rabu, 04 November 2015	0.232	1.000
	0.297	0.800
Kamis, 05 November 2015	0.090	1.200
	0.100	1.400
Jumat, 06 November 2015	0.089	0.900
	0.238	1.100
	0.057	0.600
Sabtu, 07 November 2015	0.219	1.500
	0.164	1.500
	0.123	1.800

Tabel 22. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa T

No	X	Y		X ²	Y ²
	subu	V	V		
1	0.079	1.500	0.118	0.006	2.250
2	0.057	1.100	0.062	0.003	1.210
3	0.227	4.700	1.067	0.052	22.090
4	0.757	2.300	1.742	0.574	5.290
5	0.232	1.000	0.232	0.054	1.000
6	0.297	0.800	0.237	0.088	0.640
7	0.090	1.200	0.108	0.008	1.440
8	0.100	1.400	0.140	0.010	1.960
9	0.089	0.900	0.080	0.008	0.810
10	0.238	1.100	0.262	0.057	1.210
11	0.057	0.600	0.034	0.003	0.360
12	0.219	1.500	0.328	0.048	2.250
13	0.164	1.500	0.247	0.027	2.250
14	0.123	1.800	0.221	0.015	3.240
Σ	2.728	21.400	4.878	0.952	46.000

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,299$$



Gambar 11. Grafik ΔTHDv fasa T terhadap ΔSuhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 2.

Tabel 23. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa R

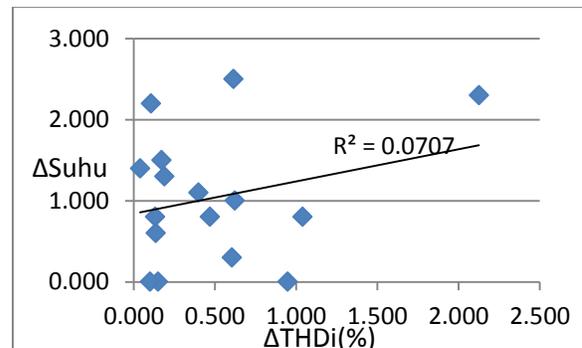
hari, tanggal	Fasa R	
	ΔTHDi(%)	ΔSuhu(°C)
senin, 02 November 2015		
Selasa, 03 November 2015	0.614	2.500
	2.126	2.300
Rabu, 04 November 2015	1.040	0.800
	0.133	0.800
Kamis, 05 November 2015	0.190	1.300
	0.470	0.800
	0.040	1.400
Jumat, 06 November 2015	0.107	2.200
	0.399	1.100
	0.151	0.000
	0.947	0.000
Sabtu, 07 November 2015	0.172	1.500
	0.622	1.000
	0.137	0.600
	0.606	0.300
	0.100	0.000

Tabel 24. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa R

No	X	Y		X ²	Y ²
	subu	V	V		
1	0.614	2.500	1.535	0.377	6.250
2	2.126	2.300	4.891	4.521	5.290
3	1.040	0.800	0.832	1.082	0.640
4	0.133	0.800	0.106	0.018	0.640
5	0.190	1.300	0.247	0.036	1.690
6	0.470	0.800	0.376	0.221	0.640
7	0.040	1.400	0.056	0.002	1.960
8	0.107	2.200	0.235	0.011	4.840
9	0.399	1.100	0.439	0.159	1.210
10	0.151	0.000	0.000	0.023	0.000
11	0.947	0.000	0.000	0.897	0.000
12	0.172	1.500	0.259	0.030	2.250
13	0.622	1.000	0.622	0.387	1.000
14	0.137	0.600	0.082	0.019	0.360
15	0.606	0.300	0.182	0.367	0.090
16	0.100	0.000	0.000	0.010	0.000
Σ	7.855	16.600	9.862	8.160	26.860

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,266$$



Gambar 12. Grafik ΔTHDi fasa R terhadap ΔSuhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 2.

Tabel 25. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa S

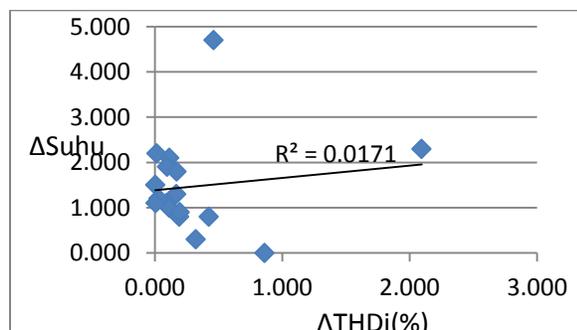
hari, tanggal	Fasa S	
	Δ THDi(%)	Δ Suhu(°C)
senin, 02 November 2015	0.091	1.100
Selasa, 03 November 2015	0.462	4.700
	2.095	2.300
	0.115	2.100
Rabu, 04 November 2015	0.113	1.000
	0.191	0.800
	0.096	1.900
	0.423	0.800
Kamis, 05 November 2015	0.170	1.300
	0.030	1.200
Jumat, 06 November 2015	0.196	0.900
	0.015	2.200
	0.006	1.100
	0.862	0.000
Sabtu, 07 November 2015	0.003	1.500
	0.172	1.800
	0.322	0.300

Tabel 26. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa S

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	suhu	T	V		T
1	0.091	1.100	0.100	0.008	1.210
2	0.462	4.700	2.173	0.214	22.090
3	2.095	2.300	4.818	4.388	5.290
4	0.115	2.100	0.242	0.013	4.410
5	0.113	1.000	0.113	0.013	1.000
6	0.191	0.800	0.153	0.036	0.640
7	0.096	1.900	0.182	0.009	3.610
8	0.423	0.800	0.338	0.179	0.640
9	0.170	1.300	0.221	0.029	1.690
10	0.030	1.200	0.036	0.001	1.440
11	0.196	0.900	0.176	0.038	0.810
12	0.015	2.200	0.033	0.000	4.840
13	0.006	1.100	0.006	0.000	1.210
14	0.862	0.000	0.000	0.743	0.000
15	0.003	1.500	0.005	0.000	2.250
16	0.172	1.800	0.309	0.029	3.240
17	0.322	0.300	0.097	0.104	0.090
Σ	5.362	25.000	9.002	5.805	54.460

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,131$$



Gambar 13. Grafik Δ THDi fasa S terhadap Δ Suhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 2.

Tabel 27. Hasil Perhitungan antara kenaikan THD dengan kenaikan Suhu pada fasa T

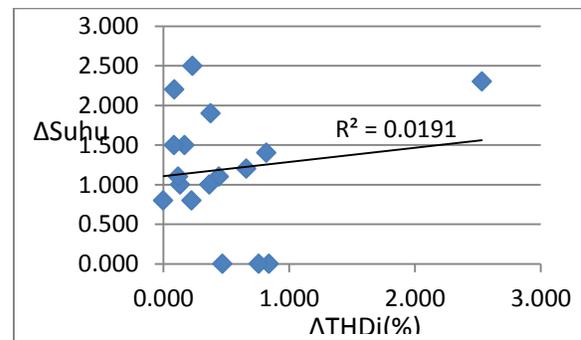
hari, tanggal	Fasa T	
	Δ THDi(%)	Δ Suhu(°C)
senin, 02 November 2015	0.168	1.500
	0.441	1.100
Selasa, 03 November 2015	0.233	2.500
	2.532	2.300
Rabu, 04 November 2015	0.132	1.000
	0.376	1.900
	0.225	0.800
Kamis, 05 November 2015	0.660	1.200
	0.000	0.800
	0.820	1.400
Jumat, 06 November 2015	0.087	2.200
	0.119	1.100
	0.470	0.000
Sabtu, 07 November 2015	0.840	0.000
	0.367	1.000
	0.086	1.500
	0.758	0.000

Tabel 28. Perhitungan korelasi THD dan Suhu pada fasa T

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
	Suhu	T	V		T
1	0.168	1.500	0.252	0.028	2.250
2	0.441	1.100	0.485	0.195	1.210
3	0.233	2.500	0.582	0.054	6.250
4	2.532	2.300	5.824	6.411	5.290
5	0.132	1.000	0.132	0.017	1.000
6	0.376	1.900	0.715	0.142	3.610
7	0.225	0.800	0.180	0.051	0.640
8	0.660	1.200	0.792	0.436	1.440
9	0.000	0.800	0.000	0.000	0.640
10	0.820	1.400	1.148	0.672	1.960
11	0.087	2.200	0.192	0.008	4.840
12	0.119	1.100	0.131	0.014	1.210
13	0.470	0.000	0.000	0.221	0.000
14	0.840	0.000	0.000	0.705	0.000
15	0.367	1.000	0.367	0.135	1.000
16	0.086	1.500	0.128	0.007	2.250
17	0.758	0.000	0.000	0.574	0.000
Σ	8.314	20.300	10.929	9.670	33.590

Hasil perhitungan korelasi

$$r = 0,138$$



Gambar 14. Grafik Δ THDi fasa T terhadap Δ Suhu tanggal 02 November - 07 November 2015 pada Trafo 2.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran dan analisa THD (Arus dan Tegangan) serta Suhu pada transformator distribusi di fakultas teknik Universitas Riau pada tanggal 02 November 2015 – 07 November 2015, maka Penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Dari gambar grafik hubungan Korelasi antara THD (tegangan dan arus) dengan Suhu selama penelitian pada trafo 1 dan trafo 2 terdapat pada Fasa R.
2. Dari gambar grafik hubungan korelasi antara THD (tegangan dan arus) dengan Suhu diantara trafo 1 dan trafo 2. Nilai kenaikan THD tegangan tertinggi di trafo 2 terdapat pada Fasa R dan nilai kenaikan THD arus tertinggi terdapat pada trafo 1 pada fasa R.

Daftar Pustaka

- Hasugian, Hotbe, 2013. *Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Panas Pada Belitan Transformator Distribusi*. Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara. Medan
- PT PLN (Persero). Transformator Tenaga.
- Dhavitra, Robby. 2014. *Analisis Dampak Total Harmonic Distortion Terhadap Losses Dan Derating Pada Transformator Distribusi Di Fakultas Teknik Universitas Riau*. Fakultas Teknik Universitas Riau. Riau
- Ade Dodiputera Poerba, 2010 *Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-rugi Pada Trafo Tiang Daya 160 kVA (Aplikasi pada PT.PLN (Persero) Cabang Medan)*. Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara. Medan

- Surbakti, Eka Rahmat, 2013. *Analisa Pengaruh Faktor-K Pada Transformator*. Medan: Skripsi USU.
- Zulkarnain, Iskandar, 2009. *Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Arus Netral, Rugi-Rugi dan Penurunan Kapasitas Pada Transformator Distribusi*. Semarang: Skripsi UNDIP
- Akhmad Jamaah. 2013. *Pengaruh Harmonik Terhadap Peningkatan Panas Pada Transformator 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang*. Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang.
- Akhmad Jamaah. 2013. *Pengaruh Distorsi Harmonik Terhadap Penurunan Kapasitas Daya Trafo 3 Fasa 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang*. Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang.
- Sulistyowati. *Pengaruh Efek Harmonisa Terhadap Rugi-rugi Transformator Distribusi*. Dosen Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Malang.

