

## PENGARUH TEMPERATUR PADA NILAI THDF (TRANSFORMER HARMONIC DERATING FACTOR) DALAM TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Wiwik Handajadi<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*Based on the previous research it can be seen that the load of a distribution transformer which was sinked in water showed that the THDF value is greater than one, and this is an advantage to optimize the use of the transformer.*

*This research analysed the effects of the increase temperature in load at the transformator distribution. The effects of harmonic were calculated based on the decrease of the performance of the transformator, i.e. operating capacity of the trafo that is called THDF (The Transformer Harmonic Derating Factor). The results of the experiment showed that the increase of the temperature was not significant to the THDF. The water that was assumed as a cooling media was not true. it was a media to increase the quality of grounding system that can reduce the effect of harmonic in transformator distribution.*

**Keywords:** Harmonic, THDF

### INTISARI

Didasarkan dari hasil penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa beban dari trafo distribusi yang direndam dalam air menunjukkan nilai THDF mempunyai harga yang lebih besar dari satu, dan ini merupakan keadaan yang menguntungkan dalam optimalisasi pengoperasian trafo distribusi.

Dalam penelitian ini, akan dianalisis pengaruh kenaikan temperatur pada beban listrik terhadap nilai THDF (Transformer Harmonic Derating Factor) pada transformator distribusi yang diakibatkan adanya harmonik pada arus atau tegangan listrik. Pengaruh dari nilai THDF yang menurun akan mengakibatkan penurunan terhadap kapasitas pengoperasian dari trafo distribusi, ini merupakan kondisi yang merugikan.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa adanya perubahan temperatur pada beban trafo distribusi, tidak signifikan terhadap nilai THDF dan adanya air yang merendam beban listrik yang diasumsikan sebagai media pendingin tidak benar, dan ini merupakan peningkatan kualitas sistem pentanahan yang dapat menurunkan pengaruh harmonik pada trafo ditribusi.

**Kata Kunci :** Harmonik, THDF.

### PENDAHULUAN.

Dalam penyaluran energi listrik, baik transmisi dan distribusi, dari pembangkit tenaga listrik sampai pada beban, untuk penyesuaian tegangan listrik diperlukan peralatan listrik yaitu transformator. Adanya harmonik yang ada pada tegangan listrik akan berpengaruh dan ini akan merugikan, yaitu terjadinya panas pada trafo. Dan dengan adanya panas tersebut akan mengakibatkan penurunan kemampuan/ kapasitas dari transformator.

Terjadinya harmonik selain disebabkan adanya faktor bentuk dari generator tersebut, juga diakibatkan pemasangan kapasitor untuk perbaikan faktor daya (Penelitian; 1997).

Dalam penelitian ini akan dilihat beberapa hal yang berkaitan adanya rugi-rugi pada trafo distribusi dan beban akibat adanya harmonik, dengan demikian akan dapat dihitung besarnya disipasi energi listrik yang merugikan.

Harmonik orde gasal yang mempunyai frekuensi kelipatan gasal dari frekuensi lebih besar akan mengakibatkan terjadinya rugi pada inti trafo (Langsdorf; 1979; hal.36) :

- Rugi histerisis yang berbanding lurus dengan frekuensinya.
- Rugi arus eddy yang berbanding kuadrat dengan frekuensinya.

Adanya rugi-rugi tersebut akan mengakibatkan terjadinya panas pada inti trafo.

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro, ISTA Yogyakarta

Selain adanya hal tersebut juga factor tak linier akibat kejenuhan pada inti trafo, akan mengakibatkan tegangan induksi pada belitan trafo dari sisi primer akan mengakibatkan bentuk tegangan induksi tidak lagi berupa sinus murni, melainkan akan mengakibatkan munculnya harmonik.

Akibat dari sifat beban induktif juga akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk dari sinus murni, menjadi bukan sinus murni dan akan menimbulkan harmonik.

Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonik antara lain komputer, *printer*, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik *ballast*, kendali kecepatan motor induksi, *batere charger*, *proses electroplating*, dll.

Penelitian ini akan menghitung besarnya kerugian akibat adanya harmonik yang akan menimbulkan panas, akan mengakibatkan penurunan kemampuan kerja dari trafo distribusi.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik dipakai trafo tiga fase sebagai penurunan tegangan, dari tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi atau tegangan beban.

Pada transformator tiga fase metode hubungan dan tipe konstruksi yang digunakan akan mempengaruhi terjadinya suatu harmonik. Harmonik pertama merupakan gelombang utama/gelombang dasar. Sedangkan harmonik ketiga, kelima, ketujuh dan seterusnya merupakan harmonik yang mengganggu serta dapat menyebabkan terjadinya suara berisik pada transformator tersebut, yang hanya terjadi pada harmonik ketiga.

Terjadinya harmonik pada transformator karena ketidaklinieran dari bahan inti trafo tersebut. Penyebab harmonik lainnya dari beban. Arus magnetisasi pada trafo tidak berbentuk sinus murni akibat adanya rugi-rugi pada transformator. Menurut deret Fourier, gelombang arus ini dapat ditulis dalam bentuk matematis sebagai berikut :

$$I(\omega t) = i_1 \sin \omega t + i_3 \sin 3\omega t + i_5 \sin 5\omega t + i_7 \omega t + \dots$$

### 1. Tegangan Titik Bintang

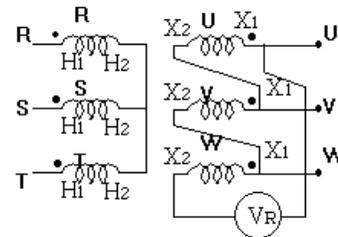
Terjadinya tegangan bintang sangat tidak diinginkan untuk sebuah trans-

formator yang dipakai untuk keperluan penerangan listrik, sebab para pemakai, yang biasanya dihubungkan pada tegangan fasa yaitu antara fasa dan nol, mendapat tegangan yang berbeda-beda, lebih-lebih lagi pada pembebanan yang tidak tepat simetrik pada ketiga fasa. Sedangkan alat-alat listrik, terutama lampu-lampu, sangat peka terhadap perubahan tegangan. Sebab-sebab terjadinya tegangan bintang ini ialah :

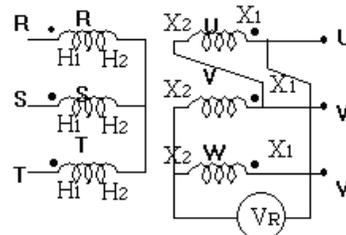
- a. Beban yang tidak simetrik.
- b. Bentuk dan konstruksi inti transformator juga tidak simetri.
- c. Antara besaran-besaran B (induksi magnet) dan H (kuat medan magnet) tidak terdapat hubungan yang linier, yang mengakibatkan terjadinya fungsi-fungsi harmonik tinggi dalam tegangan bintang.

### 2. Harmonik Ketiga

Biasanya sebelum penutupan sambungan delta transformator pada khususnya, dan rangkaian mesin pada umumnya terlebih dahulu diperiksa dengan menggunakan voltmeter untuk mengukur tegangan resultan VR seperti Gambar 1. Jika pembacaan voltmeter adalah nol, maka sambungan delta adalah benar dan voltmeter dapat dilepas, selanjutnya hubungan delta (x1 belitan a dengan x2 belitan c dapat ditutup.



a. Harga  $V_R=0$



b. Harga  $V_R=2 \cdot V_{\text{phase}}$

Gambar 1. Voltmeter pada Pengukuran Tegangan Resultan VR

Penggunaan voltmeter sebagai tindakan pencegahan supaya tidak terjadi kekeliruan sebelum penutupan hubungan delta (terkadang hasil penunjukan tidak berharga nol dan tidak pula berharga dua kali tegangan fasa). Hal ini dilakukan karena agar tidak menimbulkan keragu-raguan atas tindakan yang akan dilakukan, karena kadang kalanya voltmeter bisa menunjukkan harga sebesar 50 V.

Harga tegangan yang ditunjukkan oleh voltmeter tersebut sebesar 50 V adalah dikarenakan adanya harmonisasi ketiga yang relatif besar pada transformator. Harmonisa ketiga akan muncul pada semua transformator fasa tunggal, ketika transformator tersebut diberi tegangan nominal. Hal ini disebabkan karena kurva saturasi dari inti transformator komersial, menaik tajam dan tersaturasi secara cepat. Jadi tegangan sinusaoida murni (harga frekuensinya adalah frekuensi fundamental) menghasilkan arus magnetisasi yang terdiri arus dengan frekuensi fundamental ditambah dengan komponen harmonisa ketiga yang besar. Namun demikian bentuk gelombang arus tersebut hanya sedikit terdistorsi, karena pada transformator-transformator tunggal arus magnetisasinya adalah kecil dibandingkan arus beban.

### 3. Harmonik pada Transformator Tiga Fasa

Pada transformator tiga fasa, ketiga arus magnetisasi frekuensi fundamental tetap berbeda fasa  $120^\circ$  namun arus harmonisa ketiga (dan harmonisa tingkat berikutnya) adalah sefasa. Akibat hal ini adalah ketiga komponen harmonik ke-tiga tersebut pada masing-masing belitan menghasilkan bentuk tegangan sekunder yang mengandung distorsi tegangan harmonisa ketiga yang cukup besar, apabila sistem yang digunakan adalah bintang (Y), tanpa adanya rangkaian tertutup pada titik netralnya. Jika rangkaian sambungannya adalah tertutup seperti dalam bentuk sambungan Delta, maka harmonisa ketiga bisa bersirkulasi dan akibatnya harmonisa tersebut tertindas sehingga tidak ada *distorsi* tegangan sekunder yang dihasilkan

Untuk mengidentifikasi kehadiran harmonik pada sistem distribusi, dapat

diketahui melalui langkah-langkah sebagai berikut :

1. Identifikasi jenis beban.
2. Pemeriksaan transformator.
3. Pemeriksaan tegangan netral tanah.

Jenis beban yang dipasok, misalnya peralatan apa yang dipakai oleh konsumen. Bila banyaknya peralatan yang mempunyai komponen utama terbuat dari bahan semikonduktor seperti komputer dan alat bantu, pengatur kecepatan motor, atau peralatan lain yang menggunakan arus searah maka dapat diperkirakan masalah harmonik ada di instalasi konsumen tersebut.

Untuk transformator yang memasok beban non linier apakah ada kenaikan temperaturnya tidak normal. Arus sekunder transformator baik fasa maupun netral perlu dilihat. Bandingkan arus netralnya dengan arus fasa pada keadaan beban tidak seimbang. Apabila arus netralnya lebih besar maka dapat diperkirakan adanya *triplen harmonik* dan kemungkinan turunnya kinerja transformator.

Terjadinya arus lebih pada kawat netral (untuk sistem 3 fasa dan 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 volt maka terdapat indikasi adanya masalah harmonik pada beban tersebut. Apabila indikasi-indikasi adanya harmonik telah diketahui maka perlu dilakukan langkah-langkah untuk mengatasi masalah gangguan harmonik antara lain dengan mengetahui harmonik untuk menentukan harmonik-harmonik yang dominan dan sumber utamanya.

### PEMBAHASAN.

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonik pada sistem distribusi antara lain :

1. Memperbesar kawat netral  
Setiap sistem distribusi biasanya memakai sistem tiga fasa empat kawat yaitu 3 kawat untuk ketiga fasa dan 1 kawat lagi untuk netral. Apabila beban yang dipasok non linier sehingga pengaruh harmonik lebih dominan maka untuk mengatasi panas lebih pada ka-

wat netral akibat pengaruh harmonik sebaiknya ukuran kawat netral diperbesar dari ukuran standarnya. Begitu juga halnya yang terdapat pada panel-panel listrik disarankan kawat netral untuk sistem pentanahannya diperbesar dari ukuran standarnya.

2. Menurunkan kapasitas transformator  
Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonik pada sistem distribusi adalah dengan mengurangi kapasitas suplay daya transformator (*derating transformer*). Dalam menentukan besarnya pengurangan kapasitas transformator terdapat sebuah metode sederhana yang dapat dipergunakan yaitu dengan memakai persamaan sebagai berikut :

$$KVA\text{ baru} = THDF \times KVA\text{ pengenal} \dots\dots (1)$$

THDF adalah *Transformer Harmonic Derating Factor*

$$THDF = \left[ \frac{1,414 \times (\text{arus fasa rms})}{\text{arus puncak fasa sesaat}} \right] \times 100\% \dots(2)$$

$$= \left[ \frac{1,414 \times \frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t)_{rms}}{\frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t)_{puncak}} \right] \times 100\%$$

(Nanan dan Wanhar. Elektro Indonesia ; 1999, no. 25, tahun V)

Untuk instalasi konsumen yang memerlukan kualitas listrik yang lebih baik dan handal, untuk mengurangi pengaruh harmonik maka pada transformator distribusi atau panel kontrol utama perlu dipasang peralatan proteksi yang antara lain filter harmonik (*harmonic filter*), reaktor blok (*blocking reactor*) ataupun bank kapasitor (*capacitor bank*).

Tujuan dari pemasangan filter harmonik adalah untuk melindungi frekuensi dasar dari masuknya frekuensi yang lain. Walau bagaimanapun filter harmonik tidak dapat menghilangkan harmonik yang muncul dari sumbernya secara keseluruhan, sebab munculnya harmonik dari beban *non linier*.

Pada pemasangan proteksi sistem jaringan distribusi dengan menggunakan filter harmonik akan memberikan keuntungan antara lain :

1. Filter harmonik dapat melindungi kapasitor dari kerusakan akibat kelebihan tegangan atau arus yang ada karena pengaruh harmonik yang tinggi.

2. Menurunkan presentase pengaruh harmonik pada jaringan, sehingga peralatan-peralatan elektronik yang digunakan oleh konsumen tidak akan cepat rusak.

Pengujian dilakukan terhadap transformator distribusi milik PLN yang merupakan konsumen yang mempunyai beban berupa pompa air yang terendam yaitu PDAM dan IPAL. Waktu pengujian dilakukan pada siang hari antara pukul 05.00 – 17.00 WIB, data hasil pengukuran yang dapat diukur antara lain :

- Besaran arus rms sebenarnya (*true-rms current*) dan arus puncak (*peak current*).
- Besaran rms dan puncak untuk arus, tegangan dan daya.
- Besarnya harga THD rms, tegangan, arus dan daya harmonik pada setiap fasa sampai pada harmonik ke-31.
- Besarnya arus netral.
- Beban puncak.

Untuk perubahan temperatur dilakukan dengan membedakan tiga kondisi, yaitu:

- Temperatur rendah, dengan temperatur sekitar 20° C.
- Temperatur menengah, dengan temperatur sekitar 38° C.
- Temperatur tinggi, dengan temperatur sekitar 50° C.

Dari variable atau besaran listrik yang diperoleh dari pengukuran dapat diperoleh nilai THDF dan kapasitas baru transformator dengan menggunakan persamaan (1), maka dapat dihitung KVA baru. Data hasil pengukuran lapangan dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Untuk mengetahui besarnya harga THDF maka dapat menggunakan perhitungan sederhana yaitu persamaan (2) yang telah dijelaskan diatas, dengan persamaan tersebut juga dapat menghitung kapasitas baru dari transformator tersebut dengan persamaan (1).

Menentukan besarnya harga THDF

$$THDF = \left[ \frac{1,414 \times \frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t)_{rms}}{\frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t)_{puncak}} \right] \times 100\%$$

Untuk perhitungannya diberikan beberapa contoh sebagai berikut :

A. IPAL

$$THDF = \left[ \frac{1,414 \times \frac{1}{3} \times (29,85 + 67,58 + 52,07)}{\frac{1}{3} \times (42,83 + 96,94 + 74,8)} \right] \times 100\%$$

$$= 0,99$$

**B. Industri (PAM)**

$$THDF = \left[ \frac{1,414 \times \frac{1}{3} \times (173,1 + 174,2 + 103,47)}{\frac{1}{3} \times (245,7 + 241 + 145,95)} \right] \times 100\%$$

$$= 1,01$$

Untuk menentukan nilai kapasitas (KVA) transformator yang baru, hal yang dilakukan ialah dengan mengalikan harga THDF dengan harga KVA penge-

nal/KVA yang sebenarnya yang diberikan (ketentuan pabrik).

$$KVA_{baru} = THDF \times KVA_{pengenal}$$

Untuk contoh perhitungan KVA baru antara lain :

**A. IPAL**

$$KVA_{baru} = 0,99 \times 400$$

$$= 396KVA$$

**B. Industri (PAM, Garmen dan Logam)**

$$KVA_{baru} = 1,01 \times 200$$

$$= 202KVA$$

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pengaruh Harmonik pada Gardu Milik PLN pada temperatur rendah ( 38° C )

Nama Kap. Merk Trafo KVA	THD %	Arus rms (Arus Efektif) (A)	Arus Puncak (A)
	R S T	R S T	R S T
<b>A. IPAL</b>			
EXBA 400 FranceT	1,69 1,40 1,46	29,85 67,58 52,07	42,83 96,94 74,84
YSHA 630 Starlite	1,44 1,72 1,61	554,00 635,50 562,00	825,20 943,20 845,60
YSHC 400 Unindo	1,35 1,29 1,42	331,10 249,10 288,30	493,50 353,00 436,20
BJIA 630 Hico	2,00 2,00 1,73	77,30 77,30 77,58	111,12 111,12 119,25
DRJ 630 Toshiba	1,69 1,68 1,60	284,90 176,80 182,70	457,70 288,70 306,20
DRJB 630 Toshiba	1,17 1,33 1,11	65,68 30,18 63,09	110,43 49,19 104,68
KRU 630 Starlite	2,20 2,02 2,04	99,58 102,89 116,70	164,60 172,75 193,90
KLMA 630 Unindo	1,13 0,82 1,11	184,20 171,30 196,70	266,40 253,60 284,60
PBJ 400 Starlite	1,09 1,48 1,42	228,00 221,30 223,90	341,70 307,90 311,30
ALNA 630 Unelec	1,41 1,49 1,40	18,19 44,63 38,09	27,12 69,44 53,41
PMD 315 Trafindo	2,11 2,39 1,74	43,92 70,88 58,79	72,12 107,63 100,06
PMDA 200 Unindo	1,44 1,45 1,14	196,20 204,60 172,30	288,00 302,30 257,30
PKT 400 Starlite	1,15 1,06 0,89	98,15 88,94 79,40	152,77 136,94 120,96
V2OO 630 Toshiba	0,88 0,63 0,63	154,90 133,70 133,70	248,10 210,30 210,30
STDN 400 Unelec	1,72 1,71 1,86	50,31 49,91 76,30	82,74 74,96 114,60
KLP 630 Starlite	0,94 0,92 0,88	260,90 248,10 146,10	430,70 389,40 238,40
<b>B. PDAM</b>			
BPAM 200 Starlite	1,56 17,47 0,6	173,1 174,2 103,47	245,7 241,0 145,95
CNKB 200 Unindo	1,56 17,47 0,6	195,6 201,8 187,1	317,3 319,6 330,8
EXB 400 Toshiba	3,88 3,14 3,54	0,16 106,39 197,4	0,27 158,66 267,2

Tabel 2. Hasil Perhitungan dan Pengukuran Besarnya Arus Netral pada temperatur 50°C

Nama Kap. Merk Trafo KVA	Arus Netral (A)	THDF	Kap. Baru (KVA)
<b>A. IPAL</b>			
EXBA 400 FranceT	36,93	0,99	396
YSHA 630 Starlite	21,62	0,95	598,5
YSHC 400 Unindo	3,76	0,96	384
BJIA 630 Hico	3,18	0,96	604,8
DRJ 630 Toshiba	4,31	0,87	548,1
DRJB 630 Toshiba	26,70	0,85	535,5
KRU 630 Starlite	5,57	0,85	535,5
KLMA 630 Unindo	2,60	0,97	611,1
PBJ 400 Starlite	0,45	0,99	396
ALNA 630 Unelec	21,12	0,95	598,5
PMD 315 Trafindo	2,12	0,88	277,2
PMDA 200 Unindo	2,12	0,96	192

PKT 400 Starlite	18,79	0,92	368
V2OO 630 Toshiba	21,29	0,89	560,7
STDN 400 Unelec	20,72	0,92	368
KLP 630 Starlite	5,51	0,88	554,4
<b>B. PDAM</b>			
BPAM 200 Starlite	1,64	1,01	202
CNKB 200 Unindo	2,60	0,85	170
EXB 400 Toshiba	80,32	1,01	404

Tabel 3. Hasil Perhitungan dan Pengukuran Besarnya Arus Netral, THDF dan Kapasitas Baru Trafo

1) Pada temperatur rendah ( 20°)

Nama Trafo	Kap. KVA	Merk	Arus Netral (A)	THDF	Kap. Baru (KVA)
BPAM 200	200	Starlite	1,64	1,010	202
EXB 400	400	Toshiba	80,32	1,010	404

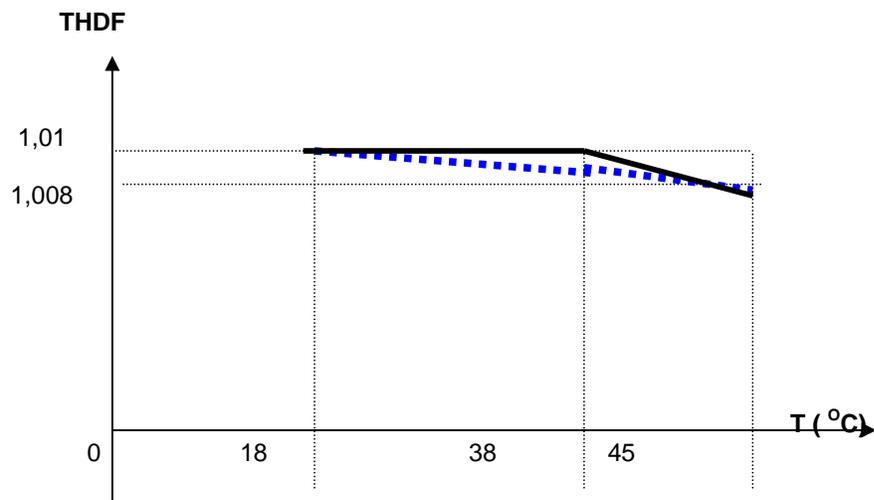
2) Pada temperatur menengah ( 38°C)

Nama Trafo	Kap. KVA	Merk	Arus Netral (A)	THDF	Kap. Baru (KVA)
BPAM 200	200	Starlite	1,65	1,009	201,8
EXB 400	400	Toshiba	80,32	1,008	403,2

3) Pada temperatur tinggi ( 50°C)

Nama Trafo	Kap. KVA	Merk	Arus Netral (A)	THDF	Kap. Baru (KVA)
BPAM 200	200	Starlite	1,66	1,008	201,8
EXB 400	400	Toshiba	80,32	1,008	403,2

Dari tabel – tabal dari hasil perhitungan THDF dari berbagai perubahan yang dapat dilihat perubahan hasil THDF yang didapat, dapat dibuat grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4



Gambar 4 Grafik hubungan antara besaran THDF dengan Temperatur/ suhu (° C)

### KESIMPULAN

Adanya perubahan temperatur pada beban trafo distribusi, tidak signifikan terhadap nilai THDF.

Adanya air yang merendam beban listrik yang diasumsikan sebagai media pendingin terhadap kenaikan temperatur akibat adanya harmonik pada trafo distribusi kurang tepat, dan yang tepat merupakan peningkatan system pendinginan yang dapat menurunkan pengaruh harmonik pada trafo distribusi.

### DAFTAR PUSTAKA

Abdul Kadir. 1981. *Transformator*. Jakarta Pradnya Paramita.  
Handajadi W., 2006, Pengaruh Harmonik pada kenaikan temperatur dalam trafo distribusi, ACADEMIA ISTA

Hutauruk, T.S. 1987. *Pengetanahan Neutral Sistem Tenaga & Pengtanaan Peralatan*,. Erlangga.

Kosow, Irving L. 1972. *Electric Machinery and Transformers*. Prentice-Hall Inc

Shen, Liang Chi dan Jin Au Kong. 1995. *Aplikasi Elektromagnetik II*; 228-231 . Jakarta : Erlangga.

Stevenson, William D. Jr. 1982. *Elements of Power System Analysis*. Mc Graw\_Hill Inc.

Wanhar dan Nanan Tribuana. 1999. *Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi*. dalam *Elektro Indonesia*, Ditjen LPE.