

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Pada penelitian ini terdapat beberapa referensi terkait tentang judul “Analisa Pengaruh Pemasangan *Double Tuned Passive Filter* Terhadap Penurunan Kapasitas Daya Transformator UIN SUSKA Riau Akibat Harmonisa” yang dapat dilihat dari penelitian sebelumnya. Namun, tujuan dan metode dari penelitian merupakan sesuatu perbedaan yang mendasari keunikan dengan penelitian lainnya. Berikut penelitian terkait mengenai harmonisa dan penurunan kapasitas daya transformator distribusi.

Jamaah (2013) dengan judul “Pengaruh Distorsi Harmonik Terhadap Penurunan Kapasitas Daya Trafo Distribusi 3 Fasa 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang”, menjelaskan kandungan harmonik yang tinggi yang di timbulkan oleh beban-beban *non linier* pada jaringan sistem tenaga listrik akan menyebabkan trafo distribusi mengalami panas berlebih dan apabila tidak segera ditangani akan menyebabkan *life time* trafo menjadi pendek. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar harmonik dan pengaruhnya terhadap penurunan kapasitas daya trafo distribusi di Polines dengan cara melakukan pengukuran harmonik trafo dalam keadaan berbeban. Metoda analisa yang dipergunakan adalah metoda komparasi antara hasil pengukuran dengan standar *IEEE 519-1992*, maka dapat ditentukan apakah perlu *derating* atau tidak. Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa kandungan harmonik trafo untuk total kandungan harmonik tegangan (THD) semua di bawah standar ($< 5\%$) dan total kandungan harmonik arus (TDD) maupun IHD kedua trafo juga di bawah standar.

Priliasari dkk (2007) dengan judul “Studi Pengaruh Harmonisa pada Arus Listrik terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya Terpasang Transformator Distribusi”, menjelaskan harmonisa arus menyebabkan penurunan kapasitas daya terpasang (*derating*) pada transformator. Secara umum, harmonisa arus disebabkan oleh adanya beban beban *non linier* sehingga bentuk gelombang arus mengalami distorsi dimana frekuensi gelombang harmonisanya adalah merupakan hasil kali *integer* dari frekuensi dasarnya. Peralatan *Power Quality Analyzer* digunakan sebagai alat bantu pengukuran untuk menentukan besarnya harmonisa arus (THD) dalam transformator distribusi. maka dapat ditentukan besarnya penurunan kapasitas daya terpasang pada

transformator distribusi. Semakin besar nilai THD arus yang terjadi maka akan semakin besar pula tingkat penurunan kapasitas daya terpasang transformator distribusinya.

Riantina (2015) dengan judul “Perbandingan *Double Tuned Filter* dan Filter Tipe C dalam Mereduksi *Total Harmonic Distortion* (THD) Arus (Studi Kasus di Gedung Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial Universitas Pendidikan Indonesia)”, menjelaskan bahwa harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik *non linier*. Pada penelitian ini pereduksian harmonisa dilakukan dengan pemasangan filter pasif jenis *double tuned* dan tipe C agar THD arus berkurang. Hasil pengukuran awal di Gedung FPIPS UPI menunjukkan nilai THDi (arus) yang cukup besar, yaitu 74% sebelum filter dipasang yang belum sesuai dengan standar yang dibolehkan *IEEE 5191992*, yaitu <5%. Setelah filter *double tuned* dipasang, THDi berkurang 34,64% menjadi 39,6%. Sedangkan, setelah dipasang filter tipe C, THDi berkurang 25,59% menjadi 48,41%. Orde kerja dari filter *double tuned* dan filter tipe C adalah orde 5 dan 7. Untuk filter *double tuned*, harmonisa orde 5 berhasil dikurangi sebesar 6,12% dan harmonisa orde 7 sebesar 2,32%. Sementara untuk filter tipe C, harmonisa orde 5 berhasil dikurangi 1,14% dan harmonisa orde 7 sebesar 0,08%. Filter *double tuned* berhasil mengurangi THDi lebih banyak dibandingkan filter tipe C.

Ahnur (2016) dengan judul “Analisa Pengaruh Pemasangan *Single Tuned Passive Filter* terhadap Besarnya Harmonisa dan *Losses* pada Transformator Distribusi Fakultas Teknik Universitas Riau”. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pada dua transformator distribusi untuk mendapatkan nilai THD pada masing-masing fasanya dan didapatkan nilainya melebihi standar SPLN D5.004-1: 2012. Dari harmonisa tersebut diperoleh *losses* transformator akibat arus harmonisa pada masing-masing fasanya. Peneliti melakukan perancangan *single tuned passive filter* berdasarkan karakteristik arus, tegangan, daya dan faktor daya pada transformator yang memiliki THD diatas standar. Setelah dilakukan pemasangan filter didapatkan nilai THD pada transformator 1 fasa T dari yang sebelumnya 5,58 % menjadi 3,55 %, fasa S dari yang sebelumnya 5,48 % menjadi 3,88 % dan fasa T dari yang sebelumnya 6,10 % menjadi 3,43 % untuk transformator 2. Sedangkan untuk *losses*, filter tersebut mampu mereduksinya menjadi 0,73 kW untuk fasa T transformator 1 serta 1,02 kW dan 0,92 kW untuk fasa S dan T transformator 2.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Mar'i (2017) dengan judul "Perancangan *Single Tuned Passive Filter* terhadap Harmonisa pada Transformator Distribusi di UIN Suska Riau". Pereduksian nilai harmonisa dilakukan dengan merancang satu buah *single tuned passive filter* pada masing-masing fasa transformator berdasarkan karakteristik nilai arus, tegangan, daya dan faktor daya transformator. Hasil pengukuran pada transformator menunjukkan nilai harmonisa melebihi standar *IEEE Standard 519-1992*. Setelah dilakukan pemasangan filter didapat nilai THD tertinggi yang terjadi pada fasa R yang sebelumnya sebesar 5,77 % menjadi 3,71 %, fasa S sebelumnya sebesar 6,09 % menjadi 3,32 %, dan fasa T sebelumnya sebesar 8,68 % menjadi 4,78 %. Sedangkan untuk faktor-k pada fasa R sebelumnya sebesar 1,062 menjadi 1,04 dengan *derating* 0,81 % menjadi 0,61 %, fasa S sebelumnya sebesar 1,075 menjadi 1,05 dengan *derating* 0,97 % menjadi 0,71 % dan fasa T sebelumnya sebesar 1,12 menjadi 1,08 dengan *derating* 1,60 % menjadi 1,09 %. Dan dari perhitungan didapatkan nilai total *losses* transformator yang sebelumnya sebesar 10,43 kW berkurang menjadi 4,80 kW.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadinya harmonisa yang disebabkan oleh beban non linier berdampak pada terjadinya penurunan kapasitas daya (*derating*) transformator. Pada penelitian sebelumnya hanya membahas mengenai pengaruh harmonisa terhadap *derating* tetapi dengan menggunakan metode dan tipe filter yang berbeda dan belum ada ditemukan peneliti yang membahas harmonisa terhadap *derating* transformator menggunakan metode THDF dengan melakukan perancangan *double tuned passive filter*. Oleh karena itu dalam penelitian ini selain menghitung nilai harmonisa yang terjadi dan nilai *derating* pada transformator, penulis juga melakukan perancangan dan menentukan rating *double tuned passive filter* dalam mereduksi nilai dari harmonisa. Serta mengetahui pengaruh penurunan kapasitas daya (*derating*) transformator sebelum dan sesudah pemasangan *double tuned passive filter* pada transformator distribusi di UIN Suska Riau.

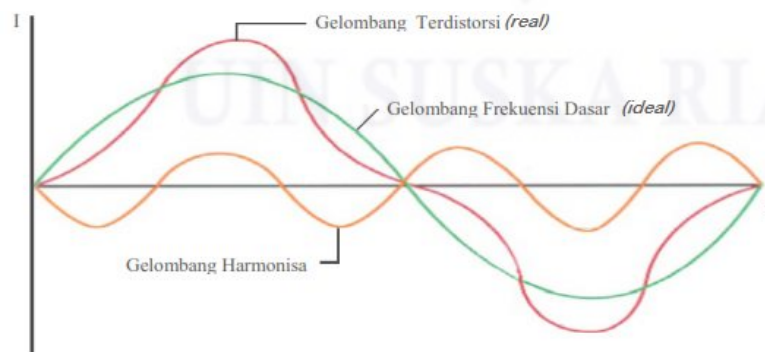
2.2 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya bentuk gelombang tegangan dan arus yang ditransmisikan hingga pendistribusian dari pembangkitan kepusat beban memiliki gelombang asli. Namun, ketika berjalan terjadi berbagai gangguan yang mengakibatkan bentuk

gelombang menjadi tidak sinus. Salah satu bentuk gangguan gelombang ini disebut dengan distorsi harmonisa.

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi arus dan tegangan ini menyebabkan gelombang arus dan tegangan menjadi tidak sinusoidal. Distorsi gelombang ini disebabkan oleh gelombang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya (50 Hz atau 60 Hz) menjadi 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz dan seterusnya. Sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya sinusoidal murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi (Suartika, 2016).

Berdasarkan *Internasional Electrotechnical Commision* (IEC), Harmonisa merupakan tegangan atau arus sinus yang memiliki kelipatan frekuensi pasokan sistem tenaga listriknya sebagaimana yang dirancang untuk beroperasi. Sebagai salah satu anggota IEC Indonesia menggunakan frekuensi 50 Hz. Namun aplikasinya ada beberapa beban yang mengakibatkan terbentuknya gelombang arus atau tegangan dimana frekuensinya kelipatan dari frekuensi 50 Hz (frekuensi fundamental). Jika 50 Hz adalah frekuensi normal dari suatu sistem, maka gelombang yang terbentuk adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, 150 Hz dan seterusnya. Gelombang inilah yang kemudian menumpang pada gelombang normal. Hal tersebut akan membentuk gelombang tidak sinusoidal yang merupakan hasil dari penjumlahan antara gelombang normal sesaat dengan gelombang harmonisanya. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1. Bentuk gelombang yang terdistorsi harmonisa
 (sumber: Priliasari, 2007)

Gambar 2.1 tersebut menampilkan gelombang arus ideal yang seharusnya sinusoidal menjadi berubah karena adanya tambahan gelombang gangguan dari gelombang harmonisa. Dengan timbulnya tambahan gelombang gangguan tersebut maka diikuti oleh 3 fenomena berikut ini:

- a. nilai efektif arus yang lebih tinggi,
- b. nilai puncak arus yang lebih tinggi,
- c. frekuensi dengan nilai yang lebih tinggi.

Rasio frekuensi tiap komponen harmonik f_n terhadap frekuensi dasar f (50Hz) merupakan orde harmonisa n , yang didefinisikan sebagai berikut (Kadir, 2010):

$$h = \frac{f_h}{f} \quad (2.1)$$

Dimana:

- h = Urutan (orde harmonisa),
- f_h = Frekuensi harmonisa ke- n ,
- f = Frekuensi dasar (50 Hz)

Harmonisa timbul karena adanya beban-beban *non linier* yang terhubung ke sistem distribusi. Beban *non linier ini* umumnya adalah peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Beberapa contoh beban *non linier* antara lain : *variable speed drive*, komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik ballast (PT. PLN, 2013)

Menurut PT. PLN (2013) akibat dari adanya harmonisa adalah sebagai berikut:

1. Panas yang berlebihan yang merusak isolasi.
2. Malfungsi kerja peralatan tenaga, sistem kontrol, dan alat ukur energi.
3. Penurunan daya mampu (*derating*) trafo.
4. Menurunkan faktor daya.
5. Meningkatkan susut jaringan.

2.3 Parameter-Parameter Harmonisa

Dalam menganalisa harmonisa didapat beberapa parameter penting yang digunakan untuk menggambarkan efek dari harmonisa pada komponen sistem tegangan, yaitu *Total Harmonic Distortion* (THD) dan *Individual Harmonic Distortion* (IHD).

2.3.1. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan nilai total persentase arus atau tegangan, ini merupakan perbandingan nilai arus atau tegangan komponen harmonisa terhadap nilai arus dan tegangan pada frekuensi *fundamental*. Besaran THD digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang *sinusoidal* idealnya, berikut rumus untuk THD tegangan dan arus. THD untuk gelombang arus adalah:

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan:

THDi = *Total Harmonic Distortion* (%),

I_h = nilai arus atau arus harmonik ke- h (A),

I_1 = nilai arus atau arus pada frekuensi dasar (A).

THD untuk gelombang tegangan adalah :

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan:

THDv = *Total Harmonic Distortion* (%),

V_h = nilai tegangan harmonik ke- h (V),

V_1 = nilai tegangan pada frekuensi dasar (V).

2.3.2. Individual Harmonic Distortion (IHD)

IHD (*Individual Harmonic Distortion*) merupakan perbandingan antara nilai arus atau tegangan harmonik orde ke- h terhadap nilai arus atau tegangan *fundamental*. Nilai IHD untuk harmonik arus dan tegangan pada orde ke- h didefinisikan sebagai berikut:

$$IHD_i = \sqrt{\frac{I_{sh}^2}{I_1^2}} \times 100\% , \quad \text{dan} \quad (2.4)$$

$$IHD_v = \sqrt{\frac{V_{sh}^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dengan:

- IHD_i = distorsi harmonisa individu arus (%),
- IHD_v = distorsi harmonisa individu tegangan (%),
- I_{sh} = arus harmonisa pada orde ke- h (A),
- V_{sh} = tegangan harmonisa pada orde ke- h (V),
- I_1 = arus fundamental (A),
- V_1 = tegangan fundamental (A)

2.4 Root Means Square (RMS)

Nilai *Root Means Square* merupakan nilai akar kuadrat rata-rata dari fungsi berkala pada suatu periode yang terdapat amplitudo. Untuk menghitung arus rms (I_{rms}) dan tegangan rms (V_{rms}) dengan persamaan berikut (Dugan, 2004) :

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} V_h^2} \quad (2.6)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} I_h^2} \quad (2.7)$$

Dengan :

- V_{rms} = Tegangan rms
- I_{rms} = Arus rms

2.5 Standar Harmonisa Arus dan Tegangan

Batas distorsi arus harmonisa dan batas maksimum distorsi tegangan merupakan kriteria yang digunakan untuk mengetahui distorsi harmonisa pada suatu sistem atau peralatan listrik apakah masih dalam batas yang ditentukan atau melebihi standar yang telah ditentukan.

Berikut batas maksimum untuk distorsi arus harmonisa dan distorsi tegangan harmonisa berdasarkan *IEEE Standard 519-1992 (IEEE, 1992)*.

Tabel 2.1. Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa.

Batasan Distorsi Harmonisa Arus						
Vn ≤ 66 Kv						
I _{sc} /I _L	Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam persen I _L					Total Harmonic Distortion (THD)
	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					
	h < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 25	35 ≤ h	
< 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 %
66 kV < Vn < 150 kV						
I _{sc} /I _L	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					THD
	h < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 25	35 ≤ h	
< 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 %
Vn > 150 kV						
I _{sc} /I _L	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					THD
	h < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 25	35 ≤ h	
< 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 %

(Sumber : *IEEE, 1992*)

Catatan :

- a. Batas maksimum distorsi harmonisa-arus genap adalah 25% dari nilai pada tabel di atas.
- b. Angka dalam berlaku untuk bilangan harmonisa (h) kelipatan dari frekuensi 50 Hz.

Untuk menghitung nilai hubung singkat tiga fasa pada PCC (*Point of Common Coupling*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Dugan, 2004):

$$I_{sc} = \frac{1000 \times MVA}{\sqrt{3}kV} \text{ (A)} \quad (2.8)$$

Dimana MVA dan kV mewakili kapasitas hubung singkat tiga fasa dalam megavoltampere dan tegangan *line-to-line* di PCC. I_{sc} merupakan arus hubung singkat yang ada pada PCC.

I_L merupakan arus beban nominal. 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 (Dugan, 2004):

$$I_L = \frac{kW}{PF\sqrt{3}kV} \text{ (A)} \quad (2.9)$$

Dengan :

- kW = permintaan rata-rata daya (masing-masing fasa)
 PF = *power factor*,
 kV = tegangan *line to line* di PCC

Menentukan batasan maksimum distorsi arus harmonisa digunakan persamaan (Dugan, 2004):

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (2.10)$$

Dengan:

- I_{sc} = Arus hubung singkat
 I_L = Arus beban nominal

Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.2. Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa

Tegangan Pada Titik Sambung (Vn)	Distorsi Harmonisa Tegangan Individu (%)	Distorsi Harmonisa Tegangan Total – THD _{Vn} (%)
Vn ≤ 66 kV	3,0	5,0
66 kV < Vn ≤ 150 kV	1,5	2,5
Vn > 150 kV	1,0	1,5

(Sumber : IEEE, 1992)

2.6 Pengaruh Harmonisa terhadap Derating Trafo Distribusi

Derating yang dilakukan pada penelitian ini adalah upaya untuk menurunkan kapasitas pembebanan trafo yang diakibatkan karena beban berpolusi harmonisa agar trafo tidak mengalami pemanasan berlebih.

Derating merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonisa pada trafo distribusi agar trafo mempunyai masa pakai yang panjang atau lama sehingga secara ekonomi menguntungkan dan sekaligus untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Untuk menentukan nilai derating suatu trafo dapat dilakukan dengan metode perhitungan nilai THDF (*Transformer Harmonic Derating Factor*), (Suartika,2016)

THDF merupakan sebuah nilai atau faktor pengali dapat diperunakan untuk menghitung besarnya kapasitas daya baru (KVA baru) sebuah trafo. Nilai THDF trafo pada dasarnya dipengaruhi oleh nilai THD terukur dari sebuah trafo karna dibebani oleh beban *non-linear*. Besarnya nilai THD dapat ditentukan melalui pengukuran terlebih dahulu. Sedangkan nilai THDF dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Suartika, 2016) :

$$\begin{aligned}
 THDF &= 1,414 \frac{(I_{rms})}{I_{puncak}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,414 \times (arus\ phase\ rms)}{(arus\ puncak\ phase\ sesaat)} \times 100\% \\
 &= \frac{1,414 \times (\frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t) rsm)}{\frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t) puncak}
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

Persamaan untuk menghitung nilai KVA baru adalah :

$$KVA \text{ baru} = THDF \times KVA \text{ pengenal} \quad (2.12)$$

Dimana :

THDF = *Transformator Harmonic Derating Factor*.

KVAbaru = kapasitas daya terpasang baru trafo

KVApengenal = kapasitas daya terpasang lama.

Dalam keadaan gelombang sinusoidal murni atau ideal dimana tidak terdapat gangguan harmonisa dalam sistem nilai THDF = 1, sehingga tidak terjadi penurunan kapasitas pada tranformator.

2.7 Metode Menghitung *Derating* Transformator

Metode derating trafo THDF diperuntukan untuk mencegah kerusakan transformator karena efek pemanasan lebih. Tingkat *derating* transformator tergantung rata-rata nilai arus rms dan arus puncak (*peak current*) harmonik per fasa. Keuntungan metode ini karena memprioritaskan konsep manajemen pemeliharaan preventif (*predictive maintenace*) tanpa membutuhkan biaya pemeliharaan (*maintenance cost*) (Paath, 2014).

2.7.1 Introduksi transformator khusus menggunakan *K-Factor* rating transformator (4, 13, 20, 30).

Trafo jenis *K-Factor* cukup mahal karena di disain khusus memikul beban harmonik. *K-Factor* rating trafo dibedakan sesuai tingkat distorsi harmonik yang ditimbulkan oleh peralatan-peralatan non-linier yang berbeda (Paath, 2014).

Standar *K-Factor* rating transformator mengacu pada standar *American National Standards Institute (ANSI)* dan *IEEE Standard C57.110-1986*. tentang *IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capacity When Supplying Nonsinusoidal Load Currents* (Paath, 2014).

Perlu diketahui bahwa transformator yang digunakan PLN tergolong jenis **K1**. Transformator jenis ini memikul beban linier **100%; beban non linier 0%**, artinya trafo jenis ini tidak di disain untuk memikul beban harmonik (Paath, 2014).

Tabel 2.3. K-Factor Ratings transformator khusus beban linier dan non-linier:

K-Factor Ratings

Type	Linear Load	Non-Linear Load	Total K-Factor Load Valve
K4	100%	50%	4.0
K13	100%	100%	13.0
K20	100%	125%	20.0
K30	100%	150%	30.0

(Sumber : Paath, 2014)

2.7.2 Metode Derating The Computer & Business Equipments & Manufacturers Association (CBEMA)

Sekilas CBEMA didirikan di Chicago, AS pada Tahun 1916, dan Tahun 1994 berubah nama menjadi *Information Technology Industry Council (ITI)*. Asosiasi industri ini sangat peduli dengan permasalahan kualitas daya (PQ), dan memiliki 58 anggota, diantaranya NOKIA, iPad, SAMSUNG, SONY, dll.

Solusi praktik CBEMA ini memperkenalkan metode *Transformer Harmonics Derating Factor (THDF)*, yaitu metode yang cukup praktis dan dapat diimplementasikan dalam manajemen transformator.

2.8 Filter Pasif Harmonisa

Pemasangan filter pasif pada sistem tenaga listrik salah satu tujuannya adalah untuk mengurangi amplitudo satu orde ke- h dari tegangan atau arus harmonisa. Dengan demikian, penyebaran arus harmonisa dari sumber-sumber harmonisa dapat diredam. Salah satu kelebihan dari filter pasif ialah dapat mengkompensasi daya reaktif dan digunakan untuk memperbaiki *cos phi* sistem secara umum.

Filter pasif merupakan salah jenis filter yang paling populer digunakan. Filter ini terdiri dari komponen resistor R, induktor L dan kapasitor C. Implementasi filter pasif ini merupakan cara yang efektif dan ekonomis untuk meredam harmonisa. Untuk mengkompensasi kerugian daya akibat harmonik, filter ini banyak digunakan pada sistem tenaga listrik. Arus akan mengalir pada reaktansi yang lebih rendah pada filter pasif. Arus dengan frekuensi yang tinggi akan mengalir pada kapasitor C, hal ini disebabkan kapasitor memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tinggi. Kapasitor dipasang secara paralel dengan beban agar dapat meredam harmonisa pada beban.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarifkaham Riau

Semua riak arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melewati kapasitor bukan ke beban. Sedangkan untuk induktor L biasanya diinstal seri terhadap beban. Dengan demikian arus yang mengalir pada rangkaian akan tidak mudah berubah berbanding lurus dengan besarnya induktor.

Pada filter pasif kapasitor dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan kVAr yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit (Alzari, 2011).

Di atas telah disebutkan beberapa kelebihan dari filter pasif, seperti dapat mengkompensasi daya reaktif dan lebih ekonomis. Selain kelebihan yang telah disebutkan, filter pasif juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya filter pasif tergantung pada impedansi sumber sistem tenaga, frekuensi sistem dan toleransi komponen (Alzari, 2011).

Ada beberapa jenis filter pasif yang dapat dimanfaatkan untuk meredam harmonisa, yaitu *single tuned passive filter (band pass filter)*, *double tuned passive filter*, *high pass filter*, *double band-pass filter* dan *composite filter*. Teknik filter pasif yang menggunakan *double tuned filter* atau *Type-C filter* yang memiliki impedansi yang rendah untuk arus harmonisa pada frekuensi tertentu atau frekuensi tinggi atau band-pass filters (*damped filters*) dapat memfilter harmonisa di atas frekuensi tertentu (*frequency bandwidth*).

Filter pasif secara ekonomi relatif murah dibandingkan dengan metoda lain untuk meredam distorsi harmonisa. Bagaimanapun, mereka mempunyai kelemahan atau kerugian karena berpotensi saling berinteraksi dengan sistem tenaga, dan penting sekali untuk menganalisa semua interaksi sistem yang mungkin terjadi saat mereka dirancang. Filter pasif bekerja sangat efisien bila filter tersebut dipasang dilokasi pembangkit harmonisa (beban *non linier*). Frekuensi resonansi harus dihindari dari setiap harmonisa atau pada frekuensi harmonisa lain yang dihasilkan oleh beban. Filter umumnya di *tuning* lebih rendah dari frekuensi harmonisa untuk keamanan sistem. Rancangan filter fasif harus mempertimbangkan perkembangan sumber arus harmonisa atau konfigurasi dari beban sebab akan menyebabkan beban lebih yang dapat berkembang menjadi panas yang berlebihan. Perancangan filter pasif memerlukan suatu pengetahuan yang tepat dari beban pembangkit harmonisa pada sistem tenaga.

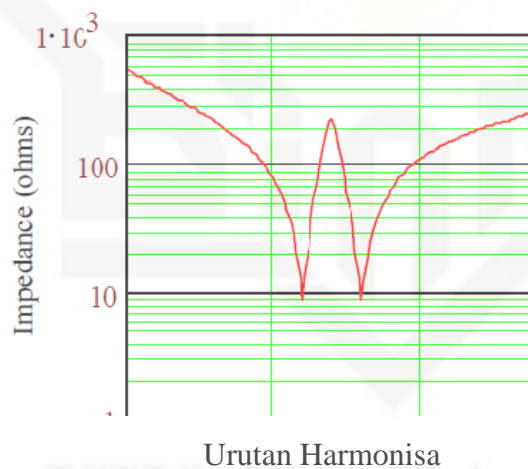
2. Tahanan R dapat juga digunakan untuk setiap faktor kualitas dari filter dan menyediakan suatu cara untuk mengendalikan jumlah arus harmonisa yang diinginkan yang melaluinya.
3. Besar nilai Q menyiratkan mengenai frekuensi resonansi filter dan oleh karena itu filter dilakukan pada nilai paling besar dari frekuensi harmonisa.

Penggunaan *double tuned filter* yaitu:

1. Biasanya digunakan pada *High Voltage Direct Current* (HVDC) stasiun modern pada sistem tegangan tinggi dimana kapasitor utama C agar lebih mudah untuk mengoptimalkan biaya /kVAR.
2. Menurunkan pembangkitan daya reaktif di cabang transmisi tenaga yang lebih rendah.
3. Masing-Masing filter pada dua harmonisa untuk mengurangi filter cabang dan rugi-rugi filter.

Karakteristik impedansi terhadap frekuensi harmonisa dapat dilihat pada

Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Karakteristik impedansi *double tuned filter*

(sumber : Radhiah, 2016)

Dari Gambar 2.2 terlihat impedansi paling rendah kondisi sekitar harmonisa orde ke 11 dan 13 yaitu pada frekuensi 550 dan 650 Hz. Jika Pada frekuensi tersebut parameter filter tidak diperhatikan maka akan mengakibatkan sistem mengalami beban besar atau hubung singkat.

Setiap filter memiliki kelebihan dan kelemahan dalam melakukan peredaman harmonisa pada sistem, yaitu sebagai berikut :

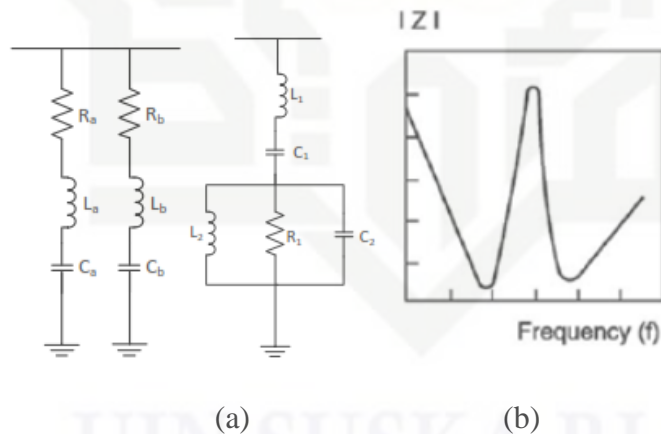
2.9.1 Kelebihan dari *Double Tuned Passive Filter*

Menurut Radhiah (2011) kelebihan dari *double tuned pasif filter*, yaitu :

- 1 Terjadi resonansi pada impedansi yang sangat rendah.
- 2 Sangat efisien pada daerah frekuensi yang sempit.
- 3 *Double tuned filter* secara normal mampu mengeliminasi frekuensi harmonisa yang paling besar yaitu harmonisa ke 11 dan 13.
- 4 Lebih sensitif terhadap *tuning* yang tidak tepat.
- 5 Dengan memberikan kapasitor utama yang besar maka kerja filter lebih optimal dan menurunkan biaya kVAR.
- 6 *Double tuned filter* merupakan model filter yang sederhana, dengan kriteria yang baik.

2.10 Desain *Double Tuned Passive filter*

Formula desain filter bertipe *double tuned* dapat diturunkan dari gambar dibawah ini, yaitu (irawan, 2011):



Gambar 2.3 (a) Rangkaian *Double Tuned Filter*

(b) Kurva impedansi terhadap frekuensi.

(sumber : Irawan, 2011)

$$C_1 = C_a + C_b \quad (2,13)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b) (L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_b C_b)} \quad (2,14)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \quad (2,15)$$

$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b^2) (L_a + L_b)} \quad (2,16)$$

$$Q = \frac{R}{2\pi f_m L_2} \quad (2,17)$$

Dengan Q adalah Faktor Kualitas.

2.11 Perancangan *Double Tuned Passive Filter*

Untuk merancang *double tuned passive filter* terlebih dahulu merancang *single tuned passive filter*. berikut langkah-langkah untuk merancang *single tuned passive filter* :

1. Meningkatkan faktor daya dengan cara mengkompensasi daya reaktif. Nilai tersebut dapat dicari menggunakan persamaan berikut (Prasetijo, 2012) :

$$Q_{VAR} = P(\tan \varphi_{awal} - \tan \varphi_{akhir}) \quad (2,18)$$

dengan :

Q_{VAR} = Nilai kompensasi daya reaktif (VAr)

P = Daya aktif sistem (W)

φ = Sudut fasa

2. Setelah mengetahui nilai daya reaktif, selanjtnya menentukan nilai reaktansi XC dan nilai kapasitansi untuk komponen filter dari nilai daya reaktif yang telah dikompensasi, Nilai kapasitor tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Dugan, 2004) :

$$X_c = \frac{V_{rated}^2}{Q_{VAR}} \quad (2,19)$$

Dengan :

X_c = reaktansi C (Ω)

V^2 = tegangan (kV)

Q_{Var} = kompensasi daya reaktif (MVar)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (2.20)$$

Dengan :

- C = Kapasitor (mF)
- X_c = Impedansi C (Ω)
- f = frekuensi fundamental 50 Hz

3. Menentukan nilai reaktansi *L* dan nilai induktansi untuk komponen filter. Nilainya dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Dugan 2004) :

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (2.21)$$

Dengan :

- X_L = reaktansi inductor (Ω)
- X_c = reaktansi kapasitor (Ω)
- h = orde harmonisa yang akan difilter

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (2.22)$$

Dengan:

- L = Induktor (mH)
- X_L = reaktansi induktor (Ω)
- f = Frekuensi fundamental (50 Hz)

4. Setelah didapatkan spesifikasi *single tuned passive filter* untuk dua orde, maka selanjutnya menentukan spesifikasi *double tuned passive filter*. Untuk menentukan spesifikasinya dapat digunakan persamaan 2.13 – 2.17.

2.12 Menghitung Pengurangan Nilai Arus Harmonisa Setelah Pemasangan Filter

Setelah didapatkan besar nilai dari induktor, capasitor, dan resistor yang digunakan untuk *double tuned passive filter*, selanjutnya adalah menghitung nilai pengurangan arus harmonik pada orde yang dilakukan reduksi. Langkah-langkah untuk menghitung nilai pengurangan arus tersebut adalah sebagai berikut :

- Menghitung nilai resistansi dan reaktansi hubung singkat sistem (Dugan, 2004) :

$$Z_{hs} = \frac{kV \times 1000}{I_{sc}} \quad (2.23)$$

$$X_{hs} = X_{hst} = Z\% \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.24)$$

$$R_{hs} = \sqrt{Z_{hs}^2 - X_{hst}^2} \quad (2.25)$$

dengan :

Z_{hs} = Impedansi hubung singkat sistem (Ω).

X_{hs} = Reaktansi hubung singkat sistem (Ω)

X_{hst} = Reaktansi hubung singkat transformator dengan asumsi nilai reaktansi merupakan impedansi transformator (Ω).

R_{hs} = Resistansi hubung singkat sistem (Ω).

$Z\%$ = Impedansi pengenal transformator.

I_{sc} = Arus hubung singkat (A).

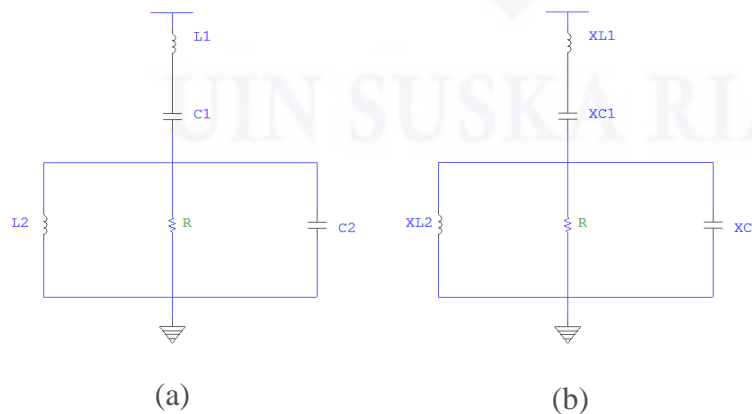
kV = Tegangan 3 fasa sekunder transformator.

MVA = Kapasitas transformator.

- Untuk menentukan nilai $|X_{L(h)} - X_{C(h)}|$ pada persamaan 2.33, dibutuhkan langkah-langkah berikut sesuai dengan prinsip rangkaian listrik. Namun sebelum itu perlu dihitung nilai reaktasi C dan L pada Orde-h.

$$X_{C(h)} = \frac{X_C}{h} \quad (2.26)$$

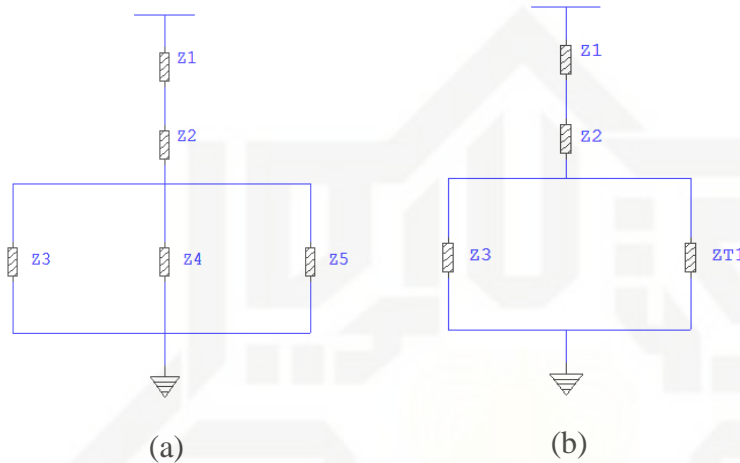
$$X_{L(h)} = X_L \times h \quad (2.27)$$



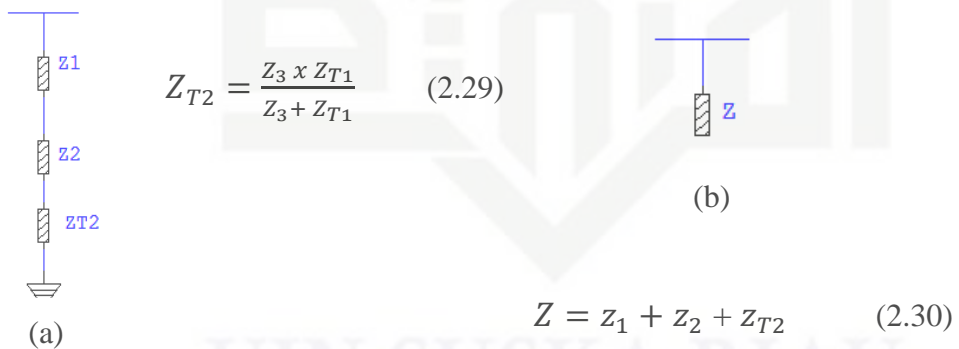
Gambar 2.4. (a). Rangkaian komponen filter,
 (b). Rangkaian komponen filter dalam ohm.

Karena komponen pada *double tuned passive filter* terdiri dari komponen R, L, dan C, maka diasumsikan semua komponen tersebut dengan Z untuk memudahkan perhitungan.

$$Z_{T1} = \frac{Z_4 \times Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad (2.28)$$



Gambar 2.5. (a). Rangkaian komponen filter dalam impedansi
 (b). Rangkaian untuk nilai Z_{T1}



Gambar 2.6. (a). Rangkaian untuk Z_{T2} (b). Rangkaian untuk Z

dengan : $X = Z \sin \varphi$; $Z = R + jX$; $jX = X_L - X_C$

nilai jX merupakan nilai untuk $|X_{L(h)} - X_{C(h)}|$ pada persamaan 2.33.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Menghitung nilai resistansi dan reaktansi hubung singkat orde ke- h pada sistem. Untuk nilai resistansi $R_{hs(1)} = R_{hs(h)}$, sedangkan untuk nilai reaktansi hubung singkat pada harmonisa orde ke- h sistem dapat dihitung dengan (Prasetijo, 2012) :

$$X_{hs(h)} = hX_{hs(1)} \quad (2.31)$$

4. Menghitung nilai impedansi Z hubung singkat sistem pada harmonisa orde ke - h (Prasetijo, 2012) :

$$Z_{hs} = \sqrt{R_{hs(h)}^2 + X_{hs(h)}^2} \quad (2.32)$$

5. Menghitung jumlah nilai arus harmonisa pada orde ke- h yang difilter (Prasetijo, 2012) :

$$I_{f(h)} = \frac{Z_{hs}}{Z_{hs} + |X_{L(h)} - X_{C(h)}|} \times I_h \quad (2.33)$$

Dengan : I_h = arus harmonisa orde ke - h yang difilter.

6. Sehingga didapatkan besar nilai arus pada orde ke - h harmonisa setelah difilter adalah :

$$I_{h(new)} = I_h - I_{f(h)} \quad (2.34)$$