



2.1. Penelitian terkait

Referensi yang terkait dengan Perancangan *Single Passive Tuned Filter* Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi di UIN Suska Riau dapat dilihat dari penelitian terdahulu seperti:

Analisa pengaruh *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 [4].

Analisa pengaruh harmonisa terhadap faktor-k pada transformator di Fakultas Teknik Universitas Andalas. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan nilai faktor-k pada transformator distribusi di fakultas teknik universitas andalas. Dari hasil penelitian didapatkan nilai THD arus pada fasa R dan S sudah sesuai dengan standar sedangkan fasa T melebihi standar. Pada THD teganganya sudah sesuai dengan standar. Untuk nilai faktor-k pada transformator yang didapatkan adalah fasa R sebesar 1.1653, fasa S sebesar 1.1623 dan fasa T sebesar 1.179 dan *derating* yang terjadi pada transformator pada fasa R sebesar 2,2 % fasa S sebesar 2,1 % serta fasa T sebesar 2,3 % [5].

Analisis pengaruh harmonisa terhadap faktor-k pada transformator. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan nilai faktor-k pada 3 transformator distribusi yang ada di PT. PLN (Persero) Cabang Medan, rayon Medan Kota dan pengaruhnya terhadap penurunan kapasitas ketiga transformator tersebut yang diakibatkan oleh harmonisa. Dari hasil penelitian didapatkan nilai THD arus ketiga transformator tersebut melebihi standard yang



ditetapkan IEEE std 519 sedangkan nilai THD tegangan ketiga transformator tidak melebihi standar yaitu masih dibawah 5 %. Nilai faktor-k terbesar yang dihasilkan arus harmonisa terjadi pada transformator MK609 yaitu pada fasa R sebesar 27,918, pada fasa S sebesar 36,416 dan pada fasa T sebesar 19,933 [6].

Perancangan filter pasif *single tuned filter* untuk mereduksi harmonisa pada beban non linier. Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi harmonisa pada beban non linier ini adalah dengan menempatkan rancangan *single tuned passive filter* pada diantara sumber dengan 5 jenis beban non linier yang terpasang. Beban-beban tersebut terdiri dari lampu hemat energi, lampu *fluorescent*, kulkas, televisi, dan motor pompa. Dari hasil penelitian tersebut terjadi penurunan nilai THD (*Total Harmonic Distortion*) arus dari 17.8 % sebelum dilakukan pemasangan menjadi 10,2 % setelah dipasang filter. Dan untuk nilai THD tegangannya berkurang dari 3,8 % menjadi 2,5 % [7].

Analisa perancangan filter pasif untuk meredam harmonik pada instalasi beban non linier. Penelitian ini melakukan perancangan filter pasif untuk meredam harmonisa yang terjadi dimana penulis melakukan simulasi menggunakan mathlab. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai THD tegangannya adalah 9,41 % dan THD arus 15,05 %. Setelah dilakukan pemasangan filter nilai THD tegangannya turun menjadi 6,61 % dan THD arusnya menjadi 10,40 % serta meningkatkan nilai faktor dayanya dari 0,971 menjadi 0,992 [8].

Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan penggunaan beban non linier dapat menyebabkan terjadinya harmonisa dan berdampak pada nilai faktor-k, *derating* serta *losses* pada transformator. Pada penelitian sebelumnya hanya membahas mengenai pengaruh harmonisa terhadap nilai faktor-k dan *derating* pada transformator tanpa melakukan perancangan filter. Oleh karna itu dalam penelitian ini selain menghitung nilai faktor-k, *derating* dan *losses* pada transformator, penulis juga melakukan perancangan dan menentukan rating *single passive tuned filter* dalam mereduksi nilai dari harmonisa. Serta mengetahui pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan filter terhadap faktor-k, *derating* dan *losses* pada transformator distribusi di UIN Suska Riau.

2.2. Harmonisa

2.2.1. Definisi harmonisa

Harmonisa merupakan suatu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang diakibatkan oleh distorsi gelombang arus dan tegangan, distorsi arus dan tegangan ini menyebabkan gelombang arus dan tegangan menjadi tidak sinusoidal. Distorsi gelombang ini

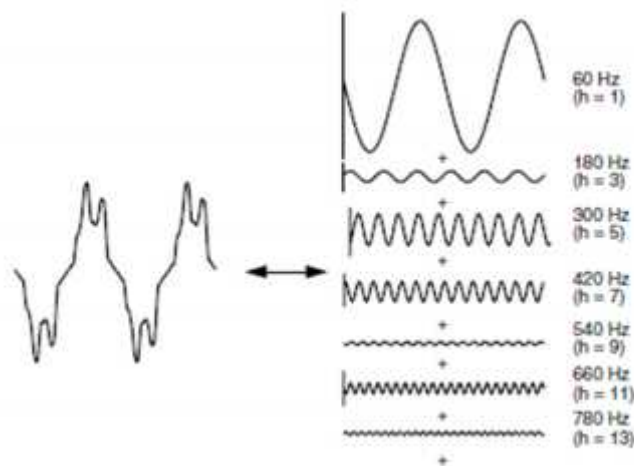
disebabkan oleh gelombang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi [3].

Indonesia sendiri dalam pengoperasian sistem tenaga listriknya menggunakan frekuensi 50 Hz. Akan tetapi dalam pengaplikasiannya terdapat beberapa beban yang menyebabkan terbentuknya gelombang arus dan tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan dari frekuensi *fundamental* nya. Apabila 50 Hz merupakan frekuensi fundamental maka kelipatan dari frekuensi fundamental berturut-turut adalah 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz dan seterusnya.



Gambar 2.1 Gelombang fundamental dengan gelombang harmonisanya [2].

Gelombang tersebut kemudian menumpang pada gelombang normal sehingga mengakibatkan gelombang yang terbentuk menjadi tidak sinusoidal, frekuensi bentuk gelombang yang terjadi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dengan gelombang harmonisa yang terjadi.



Gambar 2.2. Kelipatan frekuensi *fundamental*[3]

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



Pada Gambar 2.2 menunjukkan pada saat gelombang fundamental membentuk satu gelombang penuh, pada orde ketiga membentuk tiga gelombang penuh, begitupun untuk orde kelima pada saat gelombang fundamental membentuk satu gelombang penuh pada orde kelima membentuk lima gelombang penuh dan begitu seterusnya untuk orde selanjutnya [3].

Gelombang yang merupakan harmonisa adalah gelombang dari orde ke-2 sampai orde ke-h. Sedangkan orde pertama atau frekuensi dasar (50 Hz) bukan merupakan harmonisa. Rasio dari frekuensi harmonisa ke-n dengan frekuensi fundamental disebut juga dengan urutan atau orde harmonisa, yang dinyatakan pada persamaan berikut [3]:

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

Dengan :

h = orde harmonisa

f_h = frekuensi harmonisa ke-n

f = frekuensi dasar (50 Hz)

2.2.2. Jenis-jenis harmonisa

Berdasarkan dari urutan atau ordenya, harmonisa dapat dibedakan menjadi harmonisa ganjil dan harmonisa genap. Sesuai dengan namanya harmonisa ganjil adalah harmonisa ke 1, 3, 5, 7, 9, dan seterusnya. Sedangkan harmonisa genap merupakan harmonisa ke 2, 4, 6, 8 dan seterusnya. Namun harmonisa pertama tidak dapat dikatakan sebagai harmonisa ganjil, karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan harmonisa 0 (nol) mewakili konstanta atau komponen DC dari gelombang [3].

Pada suatu sistem tenaga listrik tiga fasa yang seimbang diasumsikan mempunyai urutan fasa R,S,T (a,b,c), dimana besar arus dan tegangan pada setiap fasa selalu sama dan berbeda sudut 120° listrik satu sama lain. Sehingga berdasarkan urutan fasanya, harmonisa dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Harmonisa urutan Positif

Harmonisa urutan positif ini mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan saling berbeda fasa 120° (R,S,T atau a,b,c). Dimana harmonisa positif ini terdiri dari harmonisa ke-1, ke-4, ke-7, ke-10, dan seterusnya.

2. Harmonisa urutan Negatif

Harmonisa urutan negatif memiliki urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan saling berbeda fasa 120° (R,T,S atau a,c,b). Dimana harmonisa negatif ini terdiri dari harmonisa ke-2, ke-5, ke-8, dan seterusnya.

3. Harmonisa urutan Kosong/Nol (*zero sequence*)

Harmonisa urutan Nol ini memiliki fasor yang sama besarnya dan sephas satu sama lain (beda fasa satu sama lain 0°), harmonisa ini juga biasa disebut *triplen harmonics*. Harmonisa urutan nol terdiri dari harmonisa ke-3, ke-6, ke-9, dan seterusnya.

Dari jenis-jenis harmonisa berdasarkan urutan fasa diatas meka dapat disimpulkan dalam tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1. Tabel Polaritas Komponen Harmonik[14]

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Tabel 2.2 Tabel Akibat Polaritas Komponen Harmonik [14]

Urutan	Pengaruh Pada Sistem Distribusi
Positif	Panas
Negatif	Panas
Nol	Panas dan menimbulkan arus pada kawat netral

2.2.3 Sumber-sumber Harmonisa[14]

Harmonisa yang terjadi diakibatkan oleh beban-beban yang terhubung ke sistem distribusi. Beban-beban pada sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu beban linier dan beban non-linier yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Beban Linear

Beban linear adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linear, artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Pada beban yang linear, bentuk gelombang arus akan mengikuti bentuk gelombang



tegangannya. Kalau bentuk gelombang tegangan sumbernya sinusiodal, maka gelombang arus yang mengalir juga akan sinusoidal.

2. Beban Non Linear

Beban non linear adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).

Dari dua macam beban diatas, yang paling mampu menjadi sumber harmonisa adalah beban non linear. Hal ini disebabkan karena adanya komponen semikonduktor yang mana dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Selain itu harmonisa dapat juga ditimbulkan oleh peralatan penyearah khususnya peralatan yang menggunakan penyearah dioda dan *thyristor*. Dalam pemakaian konverter sebagai sumber daya listrik dapat membawa suatu kerugian pada jaringan listrik yang merusak bentuk gelombang tegangan dan arus bolak-balik sehingga tidak merupakan gelombang sinus murni.

Peralatan-Peralatan yang dapat menjadi sumber harmonisa:

- a. Peralatan industri seperti: Mesin Las, UPS (*Uninterruptible Power Suplies*), Kontrol Kecepatan Kotor dan sebagainya.
- b. Perlengkapan kantor seperti: Komputer, Mesin Fotocopy, Mesin Fax, *Air Conditioning Load, Elevator, Drive* dan sebagainya.
- c. Perlengkapan rumah tangga seperti: Televisi, *Microwave*, Lampu dan sebagainya.

Adapun dampak yang ditimbulkan dari harmonisa tersebut diantaranya:

- a. Panas yang berlebihan yang merusak isolasi.
- b. Malfungsi kerja peralatan tenaga, sistem kontrol, dan alat ukur energi.
- c. Penurunan daya mampu (*derating*) trafo.
- d. Menurunkan faktor daya.
- e. Meningkatkan susut jaringan.



2.3. Parameter-parameter harmonisa

Dalam menganalisa harmonik terdapat beberapa parameter penting untuk menggambarkan efek dari harmonik pada komponen sistem tenaga, yaitu *Individual Harmonic Distortion* (IHD) dan *Total Harmonic Distortion* (THD).

2.3.1. *Individual Harmonic Distortion* (IHD)[3]

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:

$$I_1 D_t = \sqrt{\frac{I_{sh}^2}{I_1^2}} \times 100\% , \quad \text{dan} \quad (2.2)$$

$$I_1 D_v = \sqrt{\frac{V_{sh}^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (2.3)$$

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)

2.3.2. *Total Harmonic Distortion* (THD)[3]

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:

$$T = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{n_m} I_{ht}^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.4)$$



Dengan:

- THDi = Total Harmonic Distortion (%),
- I_h = nilai arus atau arus harmonik ke-h (A),
- I₁ = nilai arus atau arus pada frekuensi dasar (A).

THD untuk gelombang tegangan adalah:

$$T = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_m} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \tag{2.5}$$

Dengan:

- THDv = Total Harmonic Distortion (%),
- V_h = nilai tegangan harmonik ke-h (V),
- V₁ = nilai tegangan pada frekuensi dasar (V).

2.4. Root Means Square (RMS)[3]

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[3]:

$$V_r = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_m} V_h^2} \tag{2.6}$$

$$I_r = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_m} I_h^2} \tag{2.7}$$

Dengan :

- V_r = Tegangan rms
- I_r = 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.

- 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.

Berikut batas maksimum untuk distorsi arus harmonisa dan distorsi tegangan harmonisa berdasarkan *IEEE Standard 519-1992* [9].

Tabel 2.3. 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 %

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.



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 [3]:

$$I_S = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{xM}{k} \quad (A) \quad (2.8)$$

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 [3]:

$$I_L = \frac{k}{P \sqrt{3}} \quad (A) \quad (2.9)$$

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 [3]:

$$\frac{I_S}{I_L} \quad (2.10)$$

Dengan:

- I_S = Arus hubung singkat
- I_L = Arus beban nominal



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

Tabel 2.4. Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa[9]

Tegangan Pada Titik Sambung (V_n)	Distorsi Harmonisa Tegangan Individu (%)	Distorsi Harmonisa Tegangan Total – THD_{v_n} (%)
$V_n \leq 66 \text{ kV}$	3,0	5,0
$66 \text{ kV} < V_n \leq 150 \text{ kV}$	1,5	2,5
$V_n > 150 \text{ kV}$	1,0	1,5

2.6. Harmonisa pada transformator distribusi

Transformator distribusi langsung merasakan dampak dari harmonisa, hal ini disebabkan transformator distribusi langsung berhubungan dengan beban non linier. Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonisa adalah panas lebih pada kawat netral dan transformator. Hal ini juga menyebabkan meningkatnya nilai faktor-k dan terjadinya *derating* serta *losses* pada transformator distribusi.

2.6.1. Faktor-k

Faktor-k merupakan bobot dari arus beban harmonisa yang menurut efeknya dapat menyebabkan rugi-rugi estimasi dan pemanasan pada transformator. Nilai dari faktor-k ini sangat dipengaruhi oleh frekuensi yang mengakibatkan bertambahnya rugi estimasi pada transformator[10].

Sebuah transformator standart (K-1) tidak dirancang pada penggunaan beban non-linear yang mengandung arus harmonisa. Apabila transformator standar dipaksa untuk digunakan pada beban non-linear, maka akan terjadi panas berlebih dan gagal sebelum waktunya. Dengan alasan tersebut maka untuk mengatasi beban non-linear telah dirancang transformator khusus untuk menangani arus harmonisa yang terjadi.

Pada saat ini, pihak PLN menggunakan transformator jenis K-1 untuk semua transformator distribusinya, termasuk trafo yang digunakan oleh UIN Suska Riau. Dengan kemampuan memikul 100 % beban linier dan 0 % beban non linier [16]. Sebuah K-faktor 1.0 menunjukkan suatu beban linier atau tidak memiliki harmonisa. Apabila transformator ini dipaksa untuk membebani beban non linier yang cukup besar, maka akan terjadi panas berlebih yang terjadi pada transformator. Oleh karna itu untuk mecegah terjadinya hal

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
 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.
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 Hal yang dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau
 Diteliti dan Disetujui oleh Panitia Pengantar
 UIN Suska Riau



tersebut dirancang suatu transformator khusus untuk mengurangi nilai harmonisa yang terjadi.

K-faktor transformator berbeda dari standar. Transformator ini memiliki kapasitas termal tambahan untuk mentoleransi efek pemanasan dari arus harmonisa karena memiliki nilai impedansi yang rendah. Transformator K-faktor jauh lebih mahal dari transformator standar, karena transformator jenis ini didesain menggunakan bahan material yang berkualitas. Transformator khusus dirancang untuk digunakan dengan beban non-linear ditandai dengan K-faktor yang tidak melebihi dimana standar K-faktor adalah 4,9,13,20,30,40,50. Ketika k-faktor melebihi 4 menjadi perlu untuk menggunakan *K-rated transformer* atau *derate transformer*. Penggunaan K-faktor transformator adalah cara yang baik untuk memastikan bahwa transformator tidak akan mengalami kegagalan akibat panas berlebih arus harmonisa. Nilai faktor-k dibentuk dengan persamaan berikut [10]:

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} h^2 i_h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} i_h^2} \quad (2.11)$$

Dengan :

- K = faktor K
- I_h = Harga arus harmonisa ke-h
- h = Orde harmonisa (2,3,4,5,...)

2.6.2. Derating Transformator

Pemanasan yang terjadi pada transformator meyebabkan terjadinya penurunan performa dan *derating* pada transformator distribusi. Faktor *derating* untuk standar *non-harmonic transformer* dapat dihitung dengan menggunakan metode dari IEEE C57.110-1986[10]:

$$D = \frac{1.1}{1+0.1 K} \quad (2.12)$$

Dengan:

- D = *derating factor*
- K = faktor-k



2.6.3. Losses Transformator Akibat harmonisa[3]

Transformator dirancang untuk memberikan daya yang diperlukan oleh beban dengan minimum *losses* pada frekuensi fundamental. Distorsi harmonik yang terjadi pada arus khususnya maupun distorsi tegangan akan menyebabkan terjadinya pemanasan pada transformator.

Ada tiga efek yang mengakibatkan terjadinya pemanasan pada transformator arus beban terdapat harmonisa:

a. Arus rms.

Jika transformator kapasitasnya hanya untuk kVA yang dibutuhkan beban, arus harmonisa dapat mengakibatkan arus rms trafo menjadi lebih besar dari kapasitasnya. Meningkatnya arus rms menyebabkan rugi-rugi pada penghantar juga bertambah.

b.. *Eddy-current losses*.

Arus induksi di dalam trafo yang disebabkan oleh fluks magnetik. Arus induksi ini mengalir di belitan, di inti dan di badan penghantar lain yang terlingkupi oleh medan magnet dari transformator dan menyebabkan panas lebih. Komponen rugi-rugi trafo ini meningkat dengan kuadrat dari frekuensi arus penyebab *eddy current*. Oleh karena itu, ini menjadi komponen yang sangat penting dari rugi-rugi trafo yang menyebabkan pemanasan oleh harmonisa.

c. Rugi Inti.

Peningkatan rugi inti yang disebabkan oleh harmonisa bergantung pada pengaruh harmonisa pada tegangan yang diberikan dan rancangan dari inti trafo. Semakin besar distorsi tegangan maka semakin tinggi pula *eddy current* di inti. Peningkatan rugi inti karena harmonisa tidak sekritis dua rugi – rugi di atas.

Losses pada transformator dapat dihitung dengan menjumlahkan *losses* tembaga dan *losses* besi pada transformator akibat pengaruh harmonisa orde ke-*h* (mengambil nilai harmonisa tertinggi).

Untuk memudahkan dalam perhitungan *losses*, maka dijadikan dalam satuan per-unit (pu). Persamaan *Losses* akibat harmonisa (P_{LL}) adalah sebagai berikut [3]:

$$P_L = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \cdot P_{E-R} \text{ (pu)} \tag{2.13}$$

Dengan :

$$\sum I_h^2 = \text{Losses tembaga (pu)}$$

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

© Al-Christa Nurin UIN Suska Riau
 © Jamilic Nurhidayah Syarif Kasim Riau



- $(\sum I_{R^2} \times h^2) \cdot P_{E-R}$ = Losses besi (pu)
- h = Orde harmonisa
- I_h = Arus pada orde ke – h

Tabel 2.5. Nilai dari P_{EC-R} [3]

Type	MVA	Voltage	$P_{EC-R}(\%)$
Dry	1		3 – 8
	1,5	5 kV HV	12 – 20
	1,5	15 kV HV	9 – 15
Oil-Filled	2,5	480 kV LV	1
	2,5 – 5	481 kV LV	1 – 5
	> 5	482 kV LV	9 – 15

Eddy current terjadi bila inti dari sebuah material jenis ferromagnetik (besi) secara elektrik bersifat konduktif. Bertambahnya rugi-rugi *Eddy current* karena harmonisa berpengaruh pada temperatur kerja transformator yang terlihat pada besar rugi-rugi daya nyata (Watt) akibat *Eddy current*.

Sebelum mendapatkan nilai *losses* perlu diketahui nilai daya aktif satu fasa transformator dan juga nilai *losses* tanpa beban transformator. Nilai daya aktif satu fasa transformator dapat dicari dengan persamaan berikut [17]:

$$P_b = \frac{S \times F}{\sqrt{3}} \times D \tag{2.14}$$

Adapun tabel untuk nilai *losses* beban tanpa beban pada transformator adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6. *Losses* Tanpa Beban Transformator[15]

Daya (kVA)	Losses Tanpa Beban (W)	Daya (kVA)	Losses Tanpa Beban (W)
1	2	500	700
25	75	630	835
50	125	800	1000
100	210	1000	1100
160	300	1250	1400
200	355	1600	1680
250	420	2000	1990
315	500	2500	2350
400	595		



2.7. Filter Harmonisa

Filter harmonisa merupakan suatu rangkaian yang yang mampu mereduksi harmonisa, secara umum filter untuk harmonisa ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu filter aktif dan filter pasif.

2.7.1. Filter Aktif

Filter aktif merupakan suatu rangkaian filter yang terdiri dari komponen elektronika daya atau komponen aktif seperti Op-Amplifier, IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) serta MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*). Filter aktif ini tidak beresonansi dengan sistem dan bekerja secara *independent* dari karakteristik sistem impedansi. Dari segi biaya komponen filter aktif ini jauh lebih mahal dari filter pasif dan memiliki sistem yang lebih kompleks [3].

2.7.2. Filter Pasif

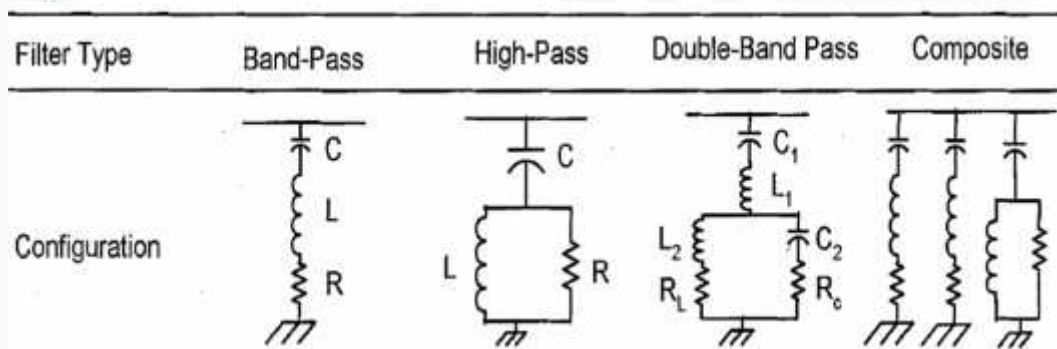
Filter pasif merupakan salah jenis filter yang paling populer digunakan dalam mereduksi nilai harmonisa. Filter ini terdiri dari komponen-komponen pasif diantaranya resistor R, induktor L dan kapasitor C. Implementasi filter pasif ini merupakan cara yang efektif dan ekonomis untuk meredam harmonisa. 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. Semua gelombang arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melewati kapasitor, sedangkan untuk induktor L biasanya di pasang seri terhadap beban, dengan demikian arus yang mengalir pada rangkaian akan tidak mudah berubah berbanding lurus dengan besarnya induktor.

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.

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.

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 [12].

Ada beberapa jenis filter pasif yang dapat dimanfaatkan untuk meredam harmonisa, yaitu *single tuned passive filter (band pass filter)*, *high pass filter*, *double band-pass filter* dan *composite filter*. Gambar di bawah ini menunjukkan rangkaian untuk masing-masing filter tersebut beserta konfigurasi dan impedansinya.



Gambar 2.3 Konfigurasi filter pasif [11]

Band pass filter atau *single tuned passive filter* ialah filter pasif yang paling umum digunakan, biasanya digunakan pada sistem tegangan rendah. Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah. *Single tuned passive filter* akan bekerja pada frekuensi kerja atau pada satu orde yang akan difilter dan melewatkan frekuensi yang diatas maupun dibawah frekuensi kerjanya.

High pass filter merupakan jenis filter yang melewatkan frekuensi tinggi, tetapi mengurangi amplitude frekuensi yang lebih rendah. Nilai-nilai pengurangan untuk frekuensi berbeda-beda untuk tiap-tiap filter, high pass filter ini terdiri dari kapasitor dan resistor serta induktor yang terhubung paralel.

Dua buah filter pasif dengan konfigurasi *single tuned* akan memiliki karakteristik yang hampir sama dengan *double bandpass* filter. Jika *single tuned* bekerja pada satu frekuensi kerja, *double bandpass* ini bekerja pada dua frekuensi kerja.

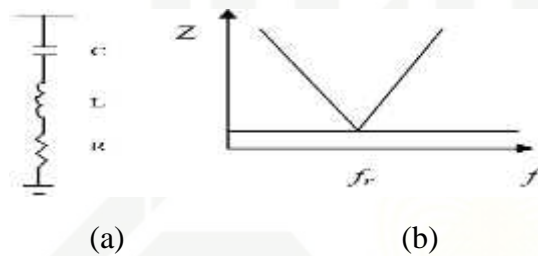
Composite filter merupakan gabungan dari beberapa filter yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana terdiri dari dua buah *single tuned filter* dan satu *high pass filter*.

Dari jenis-jenis filter diatas *single tuned passive filter* ini merupakan filter pasif yang lebih murah daripada filter-filter lainnya untuk efektifitas yang sama dengan

kelebihan yang telah disebutkan sebelumnya. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan pada transformator distribusi UIN Suska dimana harmonisa yang melebihi standar terjadi pada satu orde atau satu frekuensi saja yaitu pada orde ketiga, oleh karna itu *single tuned passive filter* ini sangat cocok di implementasikan untuk mereduksi harmonisa yang terjadi pada transformator distribusi di UIN Suska.

2.7.3. Karakteristik *Single Tuned Passive Filter*

Berikut rangkaian *single tuned passive filter* dan kurva impedansi terhadap frekuensi:



Gambar 2.4. (a) Rangkaian *single tuned passive filter*, (b) Kurva impedansi terhadap frekuensi[8]

Single tuned passive filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, induktor, dan resistor. Impedansi pada gambar 2(b) dapat dinyatakan pada persamaan berikut [11]:

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (2.15)$$

dengan: Z = Impedansi *single tuned passive filter* ()

R = Resistansi ()

L = Induktansi (H)

C = Kapasitansi (F)

Single tuned passive filter diatur pada frekuensi yang menghasilkan resonansi seri. Resonansi tersebut terjadi pada saat nilai reaktansi sama dengan nilai kapasitansi. Persamaan untuk menentukan nilai frekuensi tersebut adalah sebagai berikut [11]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.16)$$



Pada frekuensi tersebut *single tuned passive filter* memiliki impedansi minimum yang besarnya sama dengan resistansi. Filter ini akan menyerap semua arus harmonik yang dekat dengan frekuensi yang diinjeksikan.

2.7.4. Batas Komponen *Single Tuned Passive Filter*

a. Kapasitor

Kapasitor merupakan komponen filter yang dapat menyimpan energi dalam bentuk muatan listrik. Kapasitor pada filter pasif berfungsi untuk memperbaiki faktor daya, sedangkan PLN sebagai penyedia jasa listrik di Indonesia menggunakan kapasitor untuk mengurangi *losses*, memperbaiki kondisi tegangan dan mempertinggi kapasitas pembebanan pada jaringan [12].

Batas beban yang diperbolehkan berdasarkan standar ANSI/IEEE 18-1992 adalah sebagai berikut [3]:

- a. $kVAr = 135\%$;
- b. tegangan efektif = 110% ;
- c. arus efektif = 180% (termasuk arus fundamental dan arus harmonik)
- d. jumlah tegangan puncak = 120% .

Meskipun dalam standar batas arus efektif adalah 180% , namun aplikasinya mungkin lebih rendah karena masing-masing unit kapasitor diproteksi pada $125\% - 165\%$ dari rating arusnya. Dalam mendesain filter batas arus dan tegangan efektif dan jumlah tegangan puncak pada kapasitor bank sebaiknya berkisar 100% dari rating kondisi normal. Hal ini dilakukan agar kapasitor dapat mengkompensasi tegangan lebih sistem dan kondisi tidak seimbang pada kapasitor. Komponen harmonik menigkat secara signifikan untuk kondisi ketidakseimbangan kapasitor bank [12].

b. Induktor

Induktor merupakan komponen elektronika pasif yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasinya. Sebuah induktor ideal memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi atau kapasitansi, dan tidak mengkonsumsi daya secara boros. Namun pada kenyataannya sebuah induktor merupakan gabungan dari induktansi, beberapa resistansi, karena resistivitas kawat, dan beberapa kapasitansi. Induktor yang digunakan untuk aplikasi filter biasanya dari tipe inti udara yang

memberikan karakteristik linier berkenaan dengan frekuensi dan arus. Toleransi reaktansi $\pm 5\%$ dapat diterima untuk aplikasi sistem tenaga di industri [12].

2.8. Perancangan Single Tuned Passive Filter

Langkah-langkah untuk merancang *single tuned passive filter*:

1. Sebelum merancang suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya kebutuhan daya reaktif suatu sistem. Daya reaktif yang ini juga digunakan untuk menentukan besarnya nilai kapasitor untuk memperbaiki serta untuk meningkatkan faktor daya. Nilai tersebut dapat dicari menggunakan persamaan berikut [3]:

$$k = P(\tan \varphi_a - \tan \varphi_{a_{baru}}) \quad (2.17)$$

dengan :

kVar = Nilai kompensasi daya reaktif (kVar)

P = Daya aktif sistem (kW)

φ = Sudut fasa

2. Setelah nilai daya reaktif diketahui, selanjutnya menentukan reaktansi X_c dan nilai kapasitansi, nilai kapasitor tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut [3]:

$$X_c = \frac{k^2}{M} \quad (2.18)$$

Dengan :

X_c = reaktansi C (Ω)

k^2 = tegangan (kV)

MVar = kompensasi daya reaktif (MVar)

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (2.19)$$

Dengan :

C = Kapasitor (mF)

X_c = Impedansi C (Ω)

f = frekuensi fundamental 50 Hz

3. Menentukan nilai reaktansi X_L dan nilai induktansi untuk komponen filter. Dapat ditentukan dengan persamaan berikut [3]:

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (2.20)$$

Dengan :

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

$$L = \frac{X_L}{2\pi} \quad (2.21)$$

Dengan:

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

4. Menentukan nilai resistansi (R) komponen filter

Untuk mencari nilai R , selain mengetahui nilai X_n , maka yang perlu diketahui adalah nilai faktor kualitas Q dari filter. Untuk nilai X_n didapatkan dengan mengalikan orde harmonisa yang difilter dengan nilai reaktansi kapasitor, sedangkan untuk nilai Q dapat ditentukan sendiri. Namun, pada umumnya nilai Q berkisar antara 40 – 80. Pada penelitian ini, dipilih nilai Q sebesar 80 karena semakin besar nilai Q , maka kualitas filter juga semakin baik. Untuk nilai R dapat dicari dengan persamaan berikut [3]:

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (2.22)$$

Dengan:

- R = Resistansi ($m\Omega$)
- X_n = Reaktansi induktor orde h harmonisa (Ω)
- Q = Faktor kualitas

2.8.2. Analisa Unjuk Kerja Filter [3]

Analisa unjuk kerja filter ini dilakukan untuk mengetahui apakah spesifikasi dari rating filter tersebut sudah sesuai dengan standar, standar yang digunakan dapat dilihat pada table 2.7.

1. Analisa kerja fundamental filter

- a. Impedansi fundamental :

$$X_f = |X_L - X_C| \quad (2.23)$$

Hak Cipta Diindungi 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.

b. Arus fundamental :

$$I_f = \frac{V_a}{X_f} \quad (2.24)$$

c. Tegangan kapasitor

$$V_c = I_f \times X_c \quad (2.25)$$

d. Daya rating kapasitor

$$Q_f = V_c \times I_f \quad (2.26)$$

2. Analisa kerja filter pada harmonisa

a. Arus harmonisa total filter

Seperti yang telah dijelaskan, nilai harmonisa yang dihitung adalah yang bersumber dari beban saja, dimana didominasi oleh beban non linier. Maka besar arus harmonisa yang dihasilkan beban dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_T = I_n(p) \times \frac{V}{V_a} \quad (2.27)$$

b. Tegangan harmonisa kapasitor

$$V_{ch} = \frac{I_T \times X_c}{n} \quad (2.28)$$

3. Perhitungan total kerja filter

a. Arus rms total

$$I_r = \sqrt{I_f^2 + I_T^2} \quad (2.29)$$

b. Tegangan puncak

$$V = V_c + V_{ch} \quad (2.30)$$

c. Tegangan rms

$$V_r = \sqrt{V_c^2 + V_{ch}^2} \quad (2.31)$$

d. Daya reaktif kapasitor total

$$Q_{c_t} = I_r \times V_r \quad (2.32)$$

Tabel 2.7. Perbandingan Batasan Kerja Filter [3]

Kerja	Definisi	Batasan (%)
Tegangan Puncak	V / V rated	120
Tegangan RMS	V rms / V rated	110
Arus RMS	I rms / I fund	180
VAR	VAR total / VAR fund	135

2.8.2 Menghitung Pengurangan Nilai Arus Harmonisa Setelah Pemasangan Filter

Setelah nilai dari kapasitor, induktor dan resistor didapatkan untuk *single 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:

1. Menghitung nilai resistansi dan reaktansi hubung singkat sistem[3]:

$$Z_{hs} = \frac{K \times 1}{I_s} \quad (2.33)$$

$$X_{hs} = X_{hs} = Z\% \frac{K}{M} \quad (2.34)$$

$$R_{hs} = \sqrt{Z_{hs}^2 - X_{hs}^2} \quad (2.35)$$

dengan :

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

X_{hs} = Reaktansi hubung singkat sistem ()

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

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

$Z\%$ = Impedansi pengenal transformator.

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

kV = Tegangan 3 fasa sekunder transformator.

MVA = Kapasitas transformator.

Hak Cipta Diindungi 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.

2. Menghitung nilai reaktansi L dan C pada orde harmonisa yang difilter [3]:

$$X_{L(n)} = hX_{L(1)} \tag{2.36}$$

$$X_{C(n)} = \frac{X_{C(1)}}{n} \tag{2.37}$$

3. Menghitung nilai resistansi dan reaktansi hubung singkat orde ke- h pada sistem. Untuk nilai resistansi $R_{hs(1)} = R_{hs(n)}$, sedangkan untuk nilai reaktansi hubung singkat pada harmonisa orde ke- h sistem dapat dihitung dengan [8]:

$$X_{hs(n)} = hX_{hs(1)} \tag{2.38}$$

4. Menghitung nilai impedansi Z hubung singkat sistem pada harmonisa orde ke - h [8]:

$$Z_{hs} = \sqrt{R_{hs(n)}^2 + X_{hs(n)}^2} \tag{2.39}$$

5. Menghitung jumlah nilai arus harmonisa pada orde ke- h yang difilter [8] :

$$I_f(n) = \frac{Z_{hs}}{Z_{hs} + |X_{L(n)} - X_{C(n)}|} \times I_n \tag{2.40}$$

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

6. Sehingga didapatkan besar nilai arus pada orde ke - h harmonisa setelah difilter adalah [8]:

$$I_{n(n)} = I_n - I_f(n) \tag{2.41}$$

2.9. Menghitung losses penyerapan daya oleh filter

Filter tersebut membutuhkan daya dalam proses kerjanya, oleh karna itu perlu diketahui besarnya *losses* yang diakibatkan penyerapan daya filternya. Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari *losses* akibat filter adalah sebagai berikut:



Hak Cipta Diindungi 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.

- Menentukan daya yang diserap oleh filter [4]:

$$P = I^2 \times R \quad (2.42)$$

Dimana:

P = Daya aktif yang diserap filter (kW)

I = Arus fundamental filter (A)

R = Resistansi filter ()

- Menentukan besar faktor daya filter, adapun langkah-langkah dalam mencari faktor daya filter adalah sebagai berikut [4]:

$$Q = I^2 \cdot X \quad (2.43)$$

Dimana:

Q = Daya Reaktif (kVAR)

I = Arus fundamental filter (A)

X = Impedansi fundamental ()

Sehingga:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.44)$$

Dimana:

S = Daya Semu (kVA)

P = Daya Aktif (kW)

Q = Daya reaktif (kVAR)

Didapatkan faktor daya filter:

$$P = \frac{P}{S} \quad (2.45)$$

- Maka didapatkan nilai losses akibat pemasangan filter adalah sebagai berikut [4]:

$$l_a f = \left(\sqrt{(Q - Q_{var})^2 + (P)^2} \right) \times P \quad (2.46)$$

Dimana:

Q = Daya reaktif (kVAR)

Qvar = Daya reaktif kompensasi sistem (kVAR)

P = Daya Aktif (kW)

Pf = Faktor Daya