

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Harmonisa pada transformator sudah diselidiki sebelumnya oleh Ismail Daut dkk[4]. Mereka menggunakan transformator tipe *core* yang dihubungkan dengan *variable voltage variable frequency*(VVVF) sebagai sumber dan menggunakan variable kerapatan fluks magnetik. Mereka mendapatkan bahwa arus magnetik dan kandungan harmonisa meningkat ketika fluks magnetik yang besar di arahkan dan sebaliknya dengan faktor daya yang berkurang. Hal ini menunjukkan saturasi dari transformator tersebut. I. Daut [3] membahas pertimbangan penting, yaitu mengevaluasi dampak harmonik dan pengaruhnya terhadap komponen dan beban sistem tenaga. Transformator adalah komponen utama dalam sistem tenaga. Peningkatan kerugian karena distorsi harmonik dapat menyebabkan kehilangan daya yang berlebihan, oleh karena itu menyebabkan kenaikan suhu abnormal. Studi ini menyajikan efek distorsi harmonik arus beban dan tegangan pada rugi trafo fase tunggal, memanfaatkan pengukuran *on-line* (pemantauan) metode dari sisi primer. Trafo dimuati dengan pengontrol kecepatan SCR yang terdiri dari penyearah jembatan penuh fase tunggal, SCR dan beban resisten untuk menghasilkan berbagai distorsi arus dan tegangan total harmonik (THDi dan THDv).

Alexander kusko[6] menyampaikan bahwa beban non linier seperti lampu fluorescent dengan ballast elektronik, catu daya mode sakelar, SMPS fase tunggal, pengisi daya baterai, penyearah, *inverter*, *konverter* daya tiga fase, drive penggerak, tungku busur, pengelasan busur, lampu lucutan, dan reaktor jenuh dll. akan menghasilkan harmonisa arus dalam sistem daya yang mengarah ke distorsi gelombang arus dan tegangan.

Semua beban ini menarik arus non sinusoidal yang menghasilkan harmonisa saat ini dan disuntikkan kembali ke dalam sistem suplai melalui titik penggabungan umum (PCC)[6].

Angelo Baggini[7] menjelaskan efek harmonik arus kinerja peralatan sistem tenaga yang berbeda seperti kapasitor, transformator, motor, peralatan *metering* energi dan permintaan menyebabkan kerugian tambahan, terlalu panas dan overloading dan interferensi dengan jalur telekomunikasi. Oleh karena itu distorsi harmonik harus dalam batas-batas tertentu sebagaimana ditentukan dalam standar IEEE 519 dijelaskan oleh Edward.F.Fuchs[8].

A. Mansoor[9] menyelidiki karakteristik arus harmonik kumulatif dari sejumlah beban fase tunggal. Model analitis lengkap untuk jenis beban yang paling umum digunakan. Dari model ini dampak interaksi dijelaskan karena berbagai sumber impedansi dan variansi dalam rangkaian parameter, pada harmonik arus individu dan kumulatif berasal.

Untuk emulasi dari efek yang mewakili asimetri eksitasi nyata dari sisi primer transformator, Nebojsa Pjevalica menggunakan transformator toroidal eksperimental dirancang dengan lilitan banyak di primer bersama dengan sejumlah kecil lilitan sekunder. Dengan trafo seperti itu, ketika arus DC dipaksa melalui kumparan sekunder, medan magnet DC tambahan disuntikkan di inti trafo[10].

Pendekatan ini menghilangkan kebutuhan akan superposisi langsung dari sumber tegangan AC dan tegangan rendah DC yang besar, mempertahankan isolasi antara sirkuit primer dan sekunder dan akhirnya, arus DC yang disuntikkan melalui sisi sekunder harus berada dalam rentang mA kontras dengan jangkauan utama dari mikro ampere, yang lebih penting untuk pemeliharaan. Jika loop BH digeser, eksitasi tegangan AC biasa akan menghasilkan arus eksitasi AC dengan *offset* DC yang sesuai. Untuk analisis tingkat sistem, lebih mudah untuk menjaga eksitasi tegangan AC reguler pada sisi primer dengan eksitasi arus DC yang ditempatkan pada sisi sekunder. Pemisahan tersebut memberikan injeksi komponen DC yang sederhana dan terpisah dalam arus eksitasi AC, yang dapat dengan mudah disiapkan dan diverifikasi di laboratorium. Bentuk gelombang arus eksitasi AC primer tetap sama, tidak peduli pendekatan yang diterapkan[10].

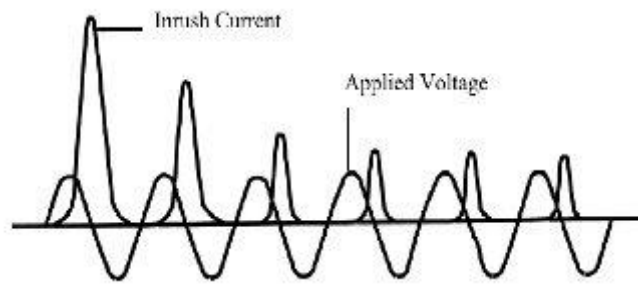
W. Mack Grady [11] menjelaskan bahwa beban elektronik berbasis fase tunggal tidak menimbulkan masalah bagi sistem tenaga. Secara total, bagaimanapun, mereka memiliki potensi untuk menaikkan tegangan harmonik dan arus ke tingkat tinggi yang tidak dapat diterima. W. Mack mengusulkan pedoman untuk pemodelan arus harmonik bersih yang dihasilkan oleh beban ini. Dua faktor kunci yang digunakan untuk menentukan pedoman adalah:

1. Peniadaan arus harmonisa karena perbedaan sudut fase, dan
2. Atenuasi karena impedansi sistem dan distorsi tegangan yang sesuai yang cenderung mengurangi nilai net.

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Arus inrush

Arus inrush dalam transformator dihasilkan dari perubahan mendadak dari tegangan magnetisasi. Arus transformator ini dapat disebabkan oleh pemberian energi pada transformator tanpa beban, terjadinya gangguan eksternal, pemulihan tegangan setelah membersihkan gangguan eksternal dan sinkronisasi fase-keluar dari generator yang terhubung. Amplitudo arus masuk dapat setinggi arus hubung singkat, maka analisis terperinci dari arus masuk magnetisasi dalam berbagai kondisi diperlukan untuk masalah sistem pelindung transformator[12].

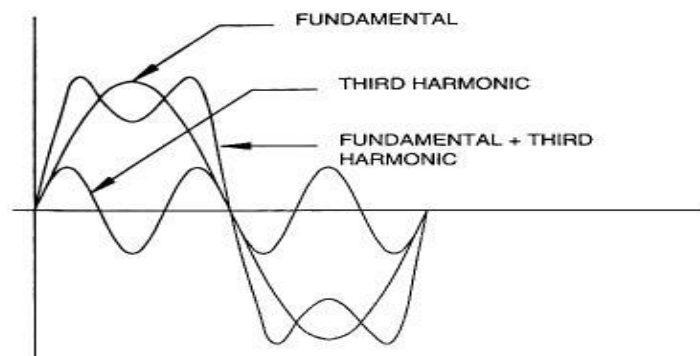


Gambar 2.1 Pola arus inrush[13]

Besar arus inrush mencapai hingga 8-10 kali arus beban penuh, bergantung pada banyak hal. Faktor utama yang mempengaruhi arus inrush adalah fluks sisa dan impedansi rangkaian[13].

2.2.2 Teori Harmonisa

Harmonisa terjadi ketika adanya gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan distorsi gelombang arus dan/atau tegangan. Distorsi ini disebabkan oleh terbentuknya gelombang kelipatan bilangan bulat dari gelombang dasarnya [14], [15].



Gambar 2.2 Gelombang dasar, harmonisa ketiga dan penjumlahannya[15]

Pada umumnya terdapat dua jenis beban pada sistem tenaga yaitu beban linier dan beban non-linier. Beban non linier adalah beban ketika bentuk gelombang keluaran tidak sealur dengan gelombang tegangan maupun arus keluarannya sehingga mengalami distorsi. Beban non linier terjadi ketika terdapat perubahan beban secara tiba–tiba yang menyebabkan distorsi.

2.2.3 Transformator

Transformator atau yang biasa disebut dengan trafo berasal dari kata *transformatie* yang berarti perubahan. Alat listrik ini digunakan untuk mengubah dan memindahkan satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya dengan menggunakan gelombang elektromagnetik.

2.2.4 Bagian dari Transformator

Konstruksi trafo secara umum terdiri dari:

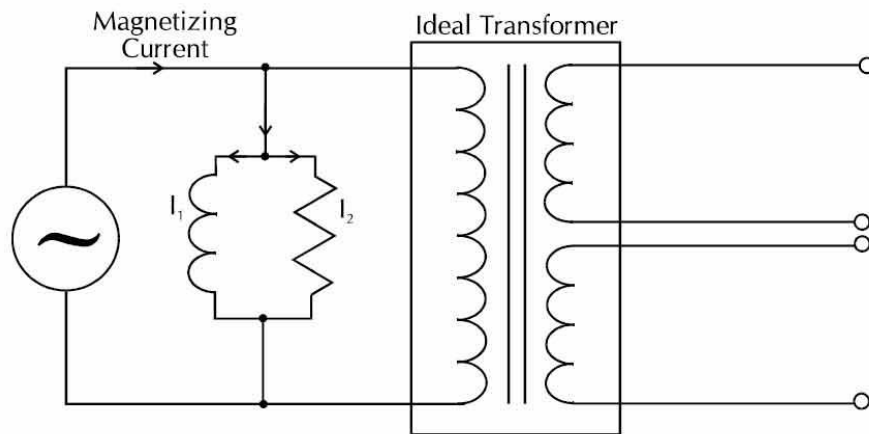
1. Inti yang terbuat dari plat besi lunak atau baja *silicon* yang di klem menjadi satu
2. Belitan yang membelit inti transformator.
3. Sistem pendingin di transformator berdaya besar

Jenis trafo berdasarkan letak kumparan

1. *Core type* (jenis inti) adalah tipe transformator dimana belitan mengelilingi inti.
2. *Shell type* (jenis cangkang) yaitu tipe transformator dimana inti mengelilingi belitan.

2.2.5 Rangkaian Magnetisasi Transformator

Saat Transformator tidak diberi beban terjadi aliran arus yang kecil untuk mensuplai gaya magnetik yang menimbulkan *flux* magnet di inti magnet. Fase dari arus ini didahului oleh tegangan primer. Arus ini dibatasi oleh resistansi efektif (R_c) dan reaktansi (X_c) yang disebut rangkaian magnetisasi. Besar arus ini sekitar 2-5 % dari arus beban penuh (full load) dengan faktor daya 0.1-0.2.



Gambar 2.3 Rangkaian Magnetisasi Transformator[16]

Ketika transformator dibebani, resistansi pada belitan primer dan sekunder suatu trafo menyebabkan terjadinya *drop* tegangan. *Drop* tegangan ini sefasa dengan tegangan belitan karena reaktansi yang *lagging*. Penurunan tegangan output ini dikenal sebagai regulasi. Tegangan jatuh yang disebabkan komponen resistif lebih kecil daripada tegangan jatuh oleh komponen reaktif, sehingga impedansi dominan dari transformator adalah reaktansi.

2.2.6 Identifikasi Harmonisa

Langkah – langkah penting dalam pendeteksian harmonisa pada sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Identifikasi Jenis Beban yang dipasok.
2. Pemeriksaan Transformator

Transformator akan dialiri arus dari PLN. Transformator di bagian sekunder akan dihubung buka. Sebelumnya harus dilakukakan pengecekan jika dialiri beban non-linear. Ketika arus netral lebih besar, disitu terjadi adanya harmonisa yang akan menurunkan kinerja transformator.

3. Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah

Apabila hubungan pentanahan yang terukur lebih besar daripada 2 Volt, maka dapat disimpulkan adanya indikasi masalah harmonisa pada beban tersebut.

2.2.7 Teori Perhitungan

Ada tiga metode perhitungan yang dipakai untuk mengetahui kandungan harmonisa, yaitu :

1. Teori Perhitungan Crest-factor (CF) [17]

Crest-factor didapat dengan membandingkan nilai puncak dengan nilai rms

$$CF = \frac{\text{peak of waveform}}{\text{rms of waveform}} \quad (2.1)$$

Gelombang sinus sempurna arus atau tegangan akan mempunyai suatu *crest-factor* = $\sqrt{2}$.

2. Faktor harmonisa atau persentase *total harmonic distortion* (%THD)[17]

Total Harmonic Distortion (THD) dapat dihitung dengan nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari fundamental yang dirasioikan.

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah perbandingan nilai RMS dari *individual harmonics* dan nilai RMS gelombang dasar/asli/fundamental.

Berdasarkan standar IEEE 519. 1992, terdapat dua kriteria untuk mengevaluasi harmonisa, Yaitu batasan untuk harmonisa arus dan batasan harmonisa tegangan. Berikut adalah tabel batasan harmonisa arus untuk sistem.

Tabel 2.1 Standar Harmonisa Arus[17]

I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	76.0	2.5	1.4	20.0

Dimana ;

$$I_{sc} = \frac{S(kVA)}{\%Z \times \sqrt{3} \times kV} \quad (2.2)$$

THD tegangan dan arus :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} ; THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2.3)$$

V_h ; I_h = komponen harmonisa.
 V_1 ; I_1 = komponen fundamental

THD tersebut merupakan salah satu bentuk perhitungan THD, yang dinamakan THD_f. Secara matematis, THD ini memiliki kemungkinan untuk bernilai lebih dari 100% [16].

3.K-Factor[1]

$$K = \sum_{h=1}^{\infty} (i_h(pu) \times h)^2 \quad (2.4)$$

Suatu *K-factor*=1 mengidentifikasi suatu beban linier.

2.2.8 Harmonik Pada Arus *Inrush*

Arus *inrush* umumnya kaya akan harmonik. Kandungan harmonik pada arus *inrush* digunakan pada diferensial arus untuk diferensial elemen transformer untuk memblokir atau meningkatkan batasan saat kondisi *inrush* [17]. Berikut merupakan kandungan harmonik pada arus *inrush* pada transformer tiga fasa.

Tabel 2.2 Konten Harmonik dari Arus *Inrush* [18]

Harmonic order	Magnitude (%)
Fundamental	100%
DC	40 to 60%
2nd	30 to 70%
3rd	30 to 50%

2.2.9 Fast-Fourier Transform

Fast Fourier Transforms adalah algoritma yang efisien untuk menghitung transformasi Fourier diskrit (DFT). DFT biasanya muncul sebagai perkiraan terhadap transformasi Fourier kontinu ketika fungsi disampel pada interval diskrit dalam ruang atau waktu.

Semua fungsi FFT menawarkan tiga jenis transformasi: maju, terbalik dan mundur, berdasarkan definisi matematika yang sama. Definisi transformasi Fourier maju, dimana x merupakan hasil FFT dari z adalah,

$$x_j = \sum_{k=0}^{n-1} z_k \exp\left(-\frac{2\pi ijk}{n}\right) \quad (2.5)$$

Secara umum ada dua pilihan yang mungkin untuk tanda eksponensial pada pasangan *transform* / *inverse-transform*. *Inverse-transform* menggunakan eksponensial negatif untuk transformasi maju. Keuntungan dari konvensi ini adalah bahwa *invers transform* menciptakan kembali fungsi asli dengan sintesis Fourier sederhana.