



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS ARUS *INRUSH* PADA TRANSFORMATOR
SATU PHASA AKIBAT PEMBEBANAN RESISTIF DAN
INDUKTIF**

Muhamad
NRP 22131000184

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**INRUSH CURRENT ANALYSIS ON ONE PHASE
TRANSFORMER IN RESULT OF RESISTIVE AND
INDUCTIVE LOADING**

Muhamad
NRP 2213100184

Advisors
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis Arus Inrush pada Transformator Satu Phasa Akibat Pembebanan Resistif dan Induktif**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 2 Juni 2017

Muhamad
NRP. 2213100184

**ANALISIS ARUS *INRUSH* PADA TRANSFORMATOR SATU
PHASA AKIBAT PEMBEBANAN RESISTIF DAN INDUKTIF**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

NIP.19700712 1998021 001

Daniar Fahmi, ST., MT.

NIP.19890925 201404 1 002



**SURABAYA
JUNI, 2017**

**ANALISIS ARUS *INRUSH* PADA TRANSFORMATOR SATU
PHASA AKIBAT
PEMBEBANAN RESISTIF DAN INDUKTIF**

Nama : Muhamad
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST., MT.

ABSTRAK

Dalam studi ini akan dilakukan eksperimen untuk menentukan karakteristik arus *inrush* pada transformator saat diberikan beban yang berbeda-beda. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui perbedaan yang terjadi saat transformator diberi beban induktif, dan beban resistif,. Transformator yang digunakan merupakan transformator satu phasa. Beban induktif yang digunakan merupakan belitan, dan beban resistif yang digunakan merupakan lampu pijar. Dari hasil eksperimen tersebut, akan dibandingkan bagaimana respon arus *inrush* yang akan dihasilkan transformator pada masing-masing beban. Berdasarkan hasil eksperimen, didapatkan bahwa pembebanan pada transformator berpengaruh terhadap nilai arus *inrush* yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai arus *inrush* pada beban induktif lebih besar dibandingkan nilai arus *inrush* pada beban resistif. Saat dibebani beban resistif nilai arus *inrush* maksimal adalah 14,2 A, dan saat dibebani beban induktif besar arus *inrush* maksimal adalah 18,6 A.

Kata kunci: Transformator Satu Phasa, Arus *Inrush*, Beban Resistif, Beban Induktif

INRUSH CURRENT ANALYSIS ON ONE PHASE TRANSFORMER IN RESULT OF RESISTIVE AND INDUCTIVE LOADING

Name : **Muhamad**
1st Advisor : **Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.**
2nd Advisor : **Daniar Fahmi, ST., MT.**

ABSTRACT

In this study experiments will be conducted to determine the characteristic inrush current on transformer when given different loads. This study is done in order to know the difference that occurs when the transformer is given inductive load and resistive load. The transformer that in use is a single phase transformer. The inductive load that in use is a tur, the resistive load that in use are indacdescent lamp. From the experimental results, the inrush current response will be compared on each load. Based on the experimental results, it is found that load on transformer affects the inrush current value. This is evidenced by the difference in inrush current value on the inductive load is higher than the value of the inrush current at the resistive load.. The maximum inrush current value when given resistive load is 14,2 A, and the maximum inrush value when given inductive load is 18,6 A.

Keywords: ***One Phase Transformer, Inrush Current, Resistive Load, Inductive Load***

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayat-Nya. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga tercinta, sahabat serta kita semua selaku umatnya. Alhamdulillah penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis arus *inrush* pada transformator satu phasa akibat pembebanan resistif dan induktif**” tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis Ibunda Zaenab Anita dan Ayahanda Abubakar Adni yang selalu memberikan doa, nasehat, dan semangat kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
2. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak Daniar Fahmi, atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Abdullah dan Maimunah yang selalu memberikan semangat dan tidak bosan dalam mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhirnya.
4. Fatimah Emmy dan Rizky Fabriyando dan Alwi yang memberikan doa dan semangat kepada penulis.
5. Segenap keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan hiburan kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Arief Budi K dan M. Wahyudi yang selalu memberikan saran dan pengalaman seputar tugas akhir.
7. Rekan-rekan asisten dan member Laboratorium Tegangan Tinggi yang mengingatkan dan mendukung penulis agar penulis bisa wisuda ke-116.
8. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Departemen Teknik Elektro-FTE, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

9. Teman-teman ECLUS dan Naga Sobung yang selalu memberikan dukungan agar penulis bisa wisuda ke-116.
10. Rekan-rekan asisten dan member Laboratorium Konversi Energi yang mengingatkan dan mendukung penulis agar penulis bisa wisuda ke-116.
11. Bella Despuspita atas doa dan pizzanya.
12. Teman teman dan sahabat lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 TRANSFORMATOR DAN ARUS <i>INRUSH</i>	5
2.1 Transformator	5
2.2 Arus <i>Inrush</i>	7
2.3 Pembebanan	8
2.3 Beban Resistif	8
2.3 Beban Induktif	9
2.4 Demagnetisasi	10
2.4.1 Metode-Metode Demagnetisasi	10
2.4.1.1 Demagnetisasi Listrik dengan Menggunakan Kapasitor	11
2.4.1.2 Demagnetisasi Listrik dengan Menggunakan Sumber DC	11
2.5 Teknik Akuisisi Data	11
2.5.1 Sumber	11
2.5.2 Sensor	11
2.5.3 Sinyal	12
2.5.4 DAQ <i>Hardware</i>	12
2.5.5 DAQ <i>Software</i>	12
BAB 3 METODOLOGI EKSPERIMEN DAN PENGAMBILAN DATA	13
3.1 Transformator Satu Phasa	13
3.2 Modul Pengujian	15

3.2.1	Modul Pengujian Arus <i>Inrush</i> Tanpa Beban.....	15
3.2.2	Modul Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Resistif.....	15
3.2.3	Modul Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif.....	16
3.3	Pengambilan dan Pematangan Data dengan Akuisisi Data dan <i>LabVIEW</i>	17
3.4	Pengolahan Data dengan <i>Fast Fourier Transform</i> Menggunakan MATLAB.....	19
3.5	Alat Demagnetisasi.....	20
3.5.1	Sudut Penyalaan.....	22
3.5.2	Konsistensi Demagnetisasi Selama 9 Menit.....	23
3.6	Pembebanan	24
3.6.1	Beban Resistif.....	24
3.6.2	Beban Induktif.....	24
3.7	Alur Pengujian	24
BAB 4	PERCOBAAN DAN ANALISA DATA	29
4.1	Pengujian Arus <i>Inrush</i> Tanpa Beban	30
4.2	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Resistif	31
4.2.1	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban 2 Lampu Pijar ..	31
4.2.2	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban 4 Lampu Pijar ..	33
4.2.3	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban 6 Lampu Pijar ..	35
4.2.4	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban 8 Lampu Pijar ..	37
4.2.5	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban 10 Lampu Pijar ..	39
4.3	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif.....	41
4.3.1	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif 66,66 VAR	41
4.3.2	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif 133,32 VAR	43
4.3.3	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif 199,98 VAR	45
4.3.4	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif 266,64 VAR	47
4.3.5	Pengujian Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif 333,3 VAR	49
4.4	Analisa Data	51
4.4.1	Arus <i>Inrush</i> Tanpa Beban.....	51
4.4.2	Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Resistif.....	51

4.4.3	Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif.....	52
4.4.4	Perbandingan Arus <i>Inrush</i> Transformator Tanpa Beban dan Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Resistif.....	53
4.4.5	Perbandingan Arus <i>Inrush</i> Transformator Tanpa Beban dan Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif.....	54
4.4.6	Perbandingan Arus <i>Inrush</i> Transformator Tanpa Beban dan Arus <i>Inrush</i> dengan Beban Induktif.....	55
BAB 5	PENUTUP	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
RIWAYAT HIDUP	61

TABLE OF CONTENT

Page

TITLE

FINAL PROJECT STATEMENT SHEET

APPROVAL SHEET

ABSTRAK	<i>i</i>
ABSTRACT	<i>iii</i>
PREFACE	<i>v</i>
TABLE OF CONTENT	<i>vii</i>
LIST OF FIGURES	<i>xi</i>
LIST OF TABLES	<i>xiii</i>

CHAPTER 1 PREFACE..... *1*

1.1 Background.....	<i>1</i>
1.2 Systematic of Report Writing	<i>2</i>

BAB 2 TRANSFORMER AND INRUSH CURRENT *5*

2.1 Transformer	<i>5</i>
2.2 Inrush current	<i>7</i>
2.3 Loading	<i>8</i>
2.3 Resistive Load	<i>8</i>
2.3 Inductive Load	<i>9</i>
2.4 Demagnetization	<i>10</i>
2.4.1 Demagnetization Method	<i>10</i>
2.4.1.1 Electrical Demagnetization Using Capacitor	<i>11</i>
2.4.1.2 Electrical Demagnetization Using DC Source	<i>11</i>
2.5 Data Acquisition Technique.....	<i>11</i>
2.5.1 Source	<i>11</i>
2.5.2 Censor.....	<i>11</i>
2.5.3 Signal	<i>12</i>
2.5.4 DAQ Hardware.....	<i>12</i>
2.5.5 DAQ Software	<i>12</i>

BAB 3 EXPERIMENT AND DATA RETRIEVAL METHOD *13*

3.1 One Phase Transformer.....	<i>13</i>
3.2 Test Module.....	<i>15</i>

3.2.1	<i>No Load Inrush Current Test Module</i>	15
3.2.2	<i>Resistive Load Inrush Current Test Module</i>	15
3.2.3	<i>Inductive Load Inrush Current Test Module</i>	16
3.3	<i>Retrieval and Data Deduction with Data Acquisition and LabVIEW</i>	17
3.4	<i>Data Processing with Fast Fourier Transform Using MATLAB</i>	19
3.5	<i>Demagnetization Module</i>	20
3.5.1	<i>Angle of Ignition</i>	22
3.5.2	<i>Consistency of Demagnetization for 9 Minutes</i>	23
3.6	<i>Loading</i>	24
3.6.1	<i>Resistive Loading</i>	24
3.6.2	<i>Inductive Loading</i>	24
3.7	<i>Testing Flow</i>	24
BAB 4	<i>EXPERIMENT AND DATA ANALYSIS</i>	29
4.1	<i>Inrush Current Testing with No Load</i>	30
4.2	<i>Inrush Current Testing with Resistive Load</i>	31
4.2.1	<i>Inrush Current Testing with 2 Incandescent Lamps</i>	31
4.2.2	<i>Inrush Current Testing with 4 Incandescent Lamps</i>	33
4.2.3	<i>Inrush Current Testing with 6 Incandescent Lamps</i>	35
4.2.4	<i>Inrush Current Testing with 8 Incandescent Lamps</i>	37
4.2.5	<i>Inrush Current Testing with 10 Incandescent Lamps</i> ..	39
4.3	<i>Inrush Current Testing with Inductive Load</i>	41
4.3.1	<i>Inrush Current Testing with 66,66 VAR Inductive Load</i>	41
4.3.2	<i>Inrush Current Testing with 133,32 VAR Inductive Load</i>	43
4.3.3	<i>Inrush Current Testing with 199,98 VAR Inductive Load</i>	45
4.3.4	<i>Inrush Current Testing with 266,64 VAR Inductive Load</i>	47
4.3.5	<i>Inrush Current Testing with 333,3 VAR Inductive Load</i>	49
4.4	<i>Data Analysis</i>	51
4.4.1	<i>Inrush Current with No Load</i>	51
4.4.2	<i>Inrush Current with Resistive Load</i>	51
4.4.3	<i>Inrush Current with Inductive Load</i>	52
4.4.4	<i>Comparison of Inrush Current with No Load and</i>	

<i>Inrush Current with Resistive Load</i>	53
4.4.5 <i>Comparison of Inrush Current with No Load and Inrush Current with Inductive Load</i>	54
4.4.6 <i>Comparison of Inrush Current with Resistive Load and Inrush Current with Inductive Load</i>	55
BAB 5 CLOSING	57
5.1 <i>Conclusion</i>	57
5.2 <i>Recommendation for Next Research</i>	58
BIBLIOGRAPHY	59
BIOGRAPHY OF AUTHOR	61

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1.	Tipe-tipe Transformator : (a) Transformator tipe cangkang, (b) Transformator tipe inti	6
Gambar 2.2.	Arus <i>inrush</i> saat sudut penyalaaan 0°	7
Gambar 2.3.	Gelombang sinusoidal resistif murni	9
Gambar 2.4.	Gelombang sinusodial induktif murni	10
Gambar 3.1	Transformator satu fasa	13
Gambar 3.2.	Potongan inti transformator satu fasa	14
Gambar 3.3.	Modul pengujian arus <i>inrush</i> tanpa beban	15
Gambar 3.4.	Modul pengujian arus <i>inrush</i> dengan beban resistif ...	16
Gambar 3.5.	Modul pengujian arus <i>inrush</i> dengan beban induktif ..	17
Gambar 3.6.	DAQ 9246.....	18
Gambar 3.7.	Tampilan data pada DIAdem	18
Gambar 3.8.	Transformator arus	19
Gambar 3.9.	Hasil dari <i>fast fourier transform</i>	20
Gambar 3.10.	Skema alat demagnetisasi	21
Gambar 3.11.	Gambar alat demagnetisasi dan pensaklaran	21
Gambar 3.12.	Diagram blok pensaklaran	22
Gambar 3.13.	Gambar tegangan dengan sudut penyalaaan 0°	23
Gambar 3.14.	Modul beban resistif	25
Gambar 3.15.	Modul beban induktif	25
Gambar 3.16.	Diagram alur pengujian	26
Gambar 4.1.	Arus <i>inrush</i> tanpa beban	30
Gambar 4.2.	FFT arus <i>inrush</i> tanpa beban	30
Gambar 4.3.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 2 lampu pijar	32
Gambar 4.4.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 2 lampu pijar	32
Gambar 4.5.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 4 lampu pijar	34
Gambar 4.6.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 4 lampu pijar	34
Gambar 4.7.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 6 lampu pijar	36
Gambar 4.8.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 6 lampu pijar	36
Gambar 4.9.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 8 lampu pijar	38
Gambar 4.10.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 8 lampu pijar	38
Gambar 4.11.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 10 lampu pijar	40
Gambar 4.12.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 10 lampu pijar	40
Gambar 4.13.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 66,66 VAR	42
Gambar 4.14.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 66,66 VAR	42
Gambar 4.15.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 133,32 VAR	44

Gambar 4.16.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 133,32 VAR	44
Gambar 4.17.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 199,98 VAR	46
Gambar 4.18.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 199,98 VAR	46
Gambar 4.19.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 266,64 VAR	48
Gambar 4.20.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 266,64 VAR	48
Gambar 4.21.	Arus <i>inrush</i> dengan beban 333,3 VAR	50
Gambar 4.22.	FFT arus <i>inrush</i> dengan beban 333,3 VAR	50
Gambar 4.23.	Grafik arus <i>inrush</i> terhadap kenaikan beban resistif ...	51
Gambar 4.24.	Grafik arus <i>inrush</i> terhadap kenaikan beban induktif ..	53
Gambar 4.25.	Grafik perbandingan arus <i>inrush</i> tanpa beban dan dengan beban resistif	54
Gambar 4.26.	Grafik perbandingan arus <i>inrush</i> tanpa beban dan dengan beban induktif	55

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Spesifikasi transformer	13
Tabel 3.2. Dimensi potongan inti	14
Tabel 3.3. Nilai arus inrush saat tanpa demagnetisasi dan demagnetisasi selama 9 menit	23
Tabel 4.1. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> tanpa beban	29
Tabel 4.2. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 2 lampu pijar.	31
Tabel 4.3. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 4 lampu pijar.	33
Tabel 4.4. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 6 lampu pijar.	35
Tabel 4.5. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 8 lampu pijar	37
Tabel 4.6. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 10 lampu pijar	39
Tabel 4.7. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 66,66 VAR..	41
Tabel 4.8. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 133,32 VAR	43
Tabel 4.9. Hasil pengukuran arus <i>inrush</i> dengan beban 199,98 VAR	45
Tabel 4.10. Hasil pengukuran arus inrush dengan beban 266,64 VAR	47
Tabel 4.11. Hasil pengukuran arus inrush dengan beban 333,3 VAR..	49
Tabel 4.12. Hasil pengukuran arus inrush beban resistif	52
Tabel 4.13. Hasil pengukuran arus inrush beban induktif	52

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu peralatan yang ada di dalam sistem tenaga listrik. Transformator digunakan untuk mentransformasikan tegangan. Terdapat beberapa fenomena kegagalan pada transformator. Salah satunya adalah arus *inrush*. Arus *inrush* adalah arus yang ditimbulkan saat transformator di *energize* pertama kali. Saat transformator di *energize* pertama kali dibutuhkan arus yang sangat tinggi, 10-20 kali dari arus nominal. Arus *inrush* dapat menyebabkan kegagalan pada peralatan karena arus yang dihasilkan sangatlah besar. Arus *inrush* dapat menjadi setinggi saat *short circuit*, hal ini dapat terjadi karena transformator memberikan energi saat kondisi tidak berbeban [1]. Saat transformator tanpa beban dinyalakan atau dimatikan, akan ada arus eksitasi yang ada pada belitan transformator tersebut, hal ini dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat, memberikan akibat pada grid, dan kadang membuat pengaman pada transformator tersebut bekerja dengan salah [2]. Arus *inrush* juga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan operasi pada relay, mengurangi umur dari transformator tersebut, dan juga mengurangi kualitas daya dari sistem tersebut [3]. Dan saat transformator dihubungkan pada beban induktif maka arus *inrush* yang timbul akan lebih besar saat transformator dihubungkan pada beban resistif [4].

Berdasarkan uraian singkat diatas tugas akhir ini mengangkat judul “Analisis Arus *Inrush* pada Transformator Satu Fasa Akibat Pembebanan Resistif dan Induktif”. Permasalahan yang terkait pada tugas akhir ini adalah karakteristik arus *inrush* saat transformator di *energize* dengan beban induktif, dan resistif. Karena arus *inrush* yang dihasilkan saat transformator dihubungkan pada beban resistif, dan induktif, mempunyai nilai dan karakteristik yang berbeda, maka diperlukan adanya pengukuran tersebut untuk mengetahui perbedaan-perbedaan yang terdapat pada arus *inrush* yang dihasilkan transformator saat di beri beban resistif maupun induktif.

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus *inrush* saat transformator dihubungkan dengan beban. Penelitian ini juga dilakukan agar dapat mengetahui dan menganalisis karakteristik arus *inrush* pada transformator satu fasa akibat pembebanan

resistif, dan juga karakteristik arus *inrush* pada akibat pembebanan induktif,

Metode penelitian pada tugas akhir ini yaitu eksperimen untuk menemukan karakteristik arus *inrush* saat diberikan beban yang berbeda-beda. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui perbedaan yang terjadi saat transformator diberi beban induktif, dan juga beban resistif. Transformator yang digunakan merupakan transformator dengan desain inti khusus. Beban resistif yang digunakan merupakan lampu pijar, sedangkan beban induktif yang digunakan merupakan belitan. Eksperimen yang dilakukan menggunakan beban resistif maupun induktif dilakukan dengan pengambilan data saat no load, dan juga kenaikan beban secara berskala. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik arus *inrush* saat terjadinya kenaikan beban baik dengan beban resistif maupun induktif dengan adanya kontribusi dari beban-beban yang digunakan saat pengujian.

Selanjutnya data – data yang diperoleh dari hasil eksperimen di olah menggunakan DIADEM dan MATLAB. DIADEM digunakan untuk melihat dan memotong data yang diperoleh saat eksperimen, sedangkan MATLAB digunakan untuk mengolah data yang sudah di potong kedalam bentuk fast fourier transform.

Setelah data sudah selesai di olah, data- data saat eksperimen akan dibandingkan dan analisa akan dilakukan untuk mengetahui perbedaan dan karakteristik dari setiap percobaan yang dilakukan sehingga mendapatkan kesimpulan yang menjawab permasalahan.

1.2 Sistematika Penulisan

Bab 1 akan menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian tugas akhir ini, lalu perumusan masalah pada tugas akhir ini, tujuan dan manfaat yang ingin dicapai, metode penelitian yang digunakan, dan juga sistematika penulisan pada laporan penelitian tugas akhir ini.

Bab 2 pada laporan tugas akhir ini akan menjelaskan tentang teori-teori yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini dengan dilandasi dari beberapa tinjauan pustaka yang ada.

Pada bab 3 laporan tugas akhir ini akan menjelaskan mengenai metode-metode yang akan digunakan dalam pengujian dan pengambilan data, dan juga pengolahan data dalam tugas akhir ini.

Bab 4 akan membahas tentang analisa yang didapatkan dari pengujian arus *inrush* yang dilakukan dengan pengaruh beban resistif dan induktif.

Terakhir pada bab 5 akan menjelaskan tentang kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian dan juga saran untuk pengembangan penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 TRANSFORMATOR DAN ARUS *INRUSH*

2.1 Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang digunakan untuk mengubah nilai tegangan antara dua jalur dengan cara membuat perbedaan kumparan yang sesuai pada satu sisi dan sisi lainnya akan tegangan yang ingin ditransformasikan sesuai. Dalam proses ini nilai arus yang ada juga akan berubah, akan tetapi nilai daya yang ada akan tetap sama kecuali dengan adanya kerugian yang kecil yang ada dalam prosesnya.

Berdasarkan fungsinya transformator bisa dibagi menjadi dua yaitu, transformator *step up* dan transformator *step down*. Transformator *step up* berfungsi untuk mentransformasikan tegangan yang lebih rendah kedalam tegangan yang lebih tinggi. Sebaliknya, transformator *step down* berfungsi untuk mentransformasikan tegangan yang lebih tinggi kedalam tegangan yang lebih rendah. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, fungsi dari transformator ini sendiri bisa dibuat dengan mengatur jumlah belitannya dengan persamaan 2.1.

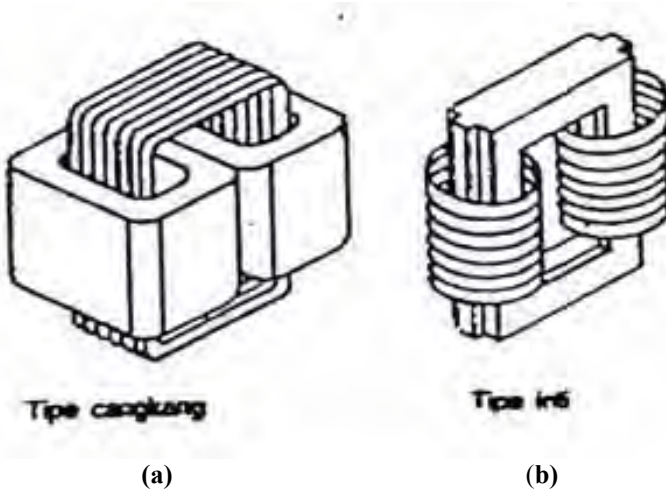
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.1)$$

Dimana :

- V_p = Tegangan primer (V)
- V_s = Tegangan sekunder (V)
- N_p = Belitan primer
- N_s = Belitan sekunder
- I_s = Arus sekunder (A)
- I_p = Arus sekunder (A)

Bagian primer dan bagian sekunder dapat dilihat dengan cara peenghubungannya. Bagian primer merupakan bagian kumparan yang terhubung pada sumber, sedangkan bagian sekunder merupakan bagian yang terhubung pada beban. Ada dua cara untuk melilit kumparan transformator. Yaitu, tipe inti (*core*) dan, tipe cangkang (*shell*). Tipe inti (*core*) adalah dimana dua belitan dililitkan kepada batangan atau inti transformator yang berbentuk persegi empat. Sedangkan tipe cangkang (*shell*) kumparan yang dililitkan pada inti bagian tengah lengan yang

terdiri dari tiga lengan. Gambar 2.1 menunjukkan tipe-tipe inti transformator.



Gambar 2.1. Tipe-tipe inti transformator:

- (a) Transformator tipe cangkang (*shell*)
- (b) Transformator tipe inti (*core*)

Dalam transformator terdapat rugi-rugi utama yang bisa dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi besi (histerisis dan arus eddy). Rugi-rugi tembaga disebabkan karena adanya resistansi pada belitan. Rugi-rugi tembaga ini meningkat seiring dengan meningkatnya arus beban yang bisa dilihat dalam persamaan 2.2. Rugi-rugi besi dapat dikelompokkan menjadi rugi-rugi histerisis dan rugi-rugi arus eddy. Rugi-rugi histerisis merupakan rugi-rugi yang terjadi karena tersisanya fluks magnet akibat penurunan atau kenaikan nilai magnetisasi. Rugi-rugi arus eddy merupakan rugi-rugi yang terjadi karena adanya tegangan yang terinduksi oleh fluks. Rugi-rugi besi dapat menyebabkan panas yang terus menerus pada inti dan menimbulkan kerusakan. Oleh karena itu, perlu adanya pertimbangan untuk memilih inti yang akan digunakan untuk membuat suatu transformator untuk meminimalisir rugi-rugi yang terjadi pada inti.

$$P_{cu} = I_{cu}^2 \cdot R_{cu} \tag{2.2}$$

Dimana :

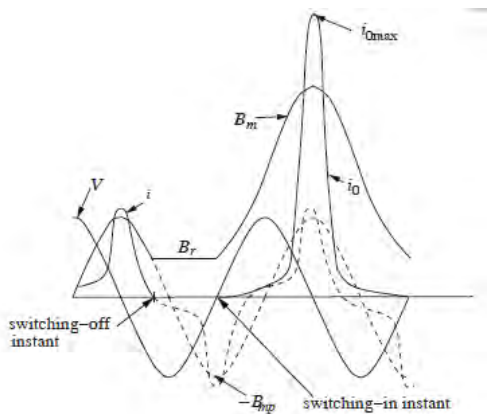
P_{cu} = Rugi-rugi tembaga (W)

I_{cu} = Arus kumparan (A)
 R_{cu} = Resistansi kumparan (Ω)

2.2 Arus *Inrush*

Saat transformator di *energize* untuk pertama kali, akan timbul suatu fenomena transien yang dinamakan arus *inrush*. Arus *inrush* sendiri merupakan arus magnetisasi yang mengalir pada kumparan primer. Arus *inrush* yang muncul akan bernilai 10-20 kali arus nominal transformator tersebut. Arus *inrush* sendiri terbagi menjadi dua bagian yaitu arus magnetisasi dan arus rugi inti. Arus magnetisasi merupakan arus yang diperlukan untuk membuat adanya fluks pada transformator, sedangkan arus rugi inti merupakan arus yang diperlukan saat histerisis dan arus eddy terjadi.

Saat transformator dimatikan, arus eksitasi akan mengikuti kurva histerisis ke titik nol, dimana nilai fluks berubah menjadi tidak nol. Nilai arus *inrush* maksimum bisa didapatkan dengan memberi tegangan transformator pada sudut penyalaaan 0° [5]. Gambar 2.2 akan menunjukkan arus *inrush* saat sudut penyalaaan 0° .



Gambar 2.2 Arus *inrush* saat sudut penyalaaan 0°

Arus *inrush* merupakan fenomena transien yang dapat merugikan, karena fenomena arus *inrush* dapat menyebabkan terjadinya

kesalahan operasi pada relay pengaman, mengurangi umur transformator, dan juga mengurangi kualitas daya pada sistem.

Pada saat transformator diberi beban maka arus *inrush* yang timbul tidak sebesar saat transformator tidak di beri beban. Arus yang diukur tetap pada arus primer. Pada kumparan sekunder arus akan mengikuti arus beban dan langsung masuk kedalam nilai steady-state nya. Namun, pada kumparan primer tetap terjadi nilai arus transien yang sangat besar[6].

Saat transformator beroperasi secara kontinyu, kondisi fluks puncak berada pada nilai negatifnya saat tegangan berada pada titik nol. Pada proses energisasi, fluks pada inti transformator harus bermula pada titik nol. Dalam hal ini, fluks magnet akan mencapai nilai puncak lebih besar dibandingkan dengan kondisi normal. Akibat ketidaklinieran karakteristik kurva magnetisasi, pada kondisi saturasi jumlah gaya gerak magnet yang tidak sebanding dibutuhkan untuk membangkitkan fluks magnet.

Nilai maksimal arus *inrush* merupakan fungsi yang terdiri dari tegangan suplai, kerapatan medan magnet sisa, kerapatan medan magnet saturasi, resistansi belitan primer dan induktansi transformator [7].

2.3 Pembebanan

Dalam jaringan listrik AC terdapat beberapa beban listrik yang harus ditopang oleh sumber listrik tersebut. Beban yang akan dijelaskan yaitu beban resistif dan beban induktif, keduanya memiliki karakteristik yang berbeda satu dengan lainnya. Karakteristik-karakteristik tersebut yang membuat adanya perbedaan pada nilai arus *inrush* yang muncul saat diberikan beban yang berbeda-beda atau bervariasi.

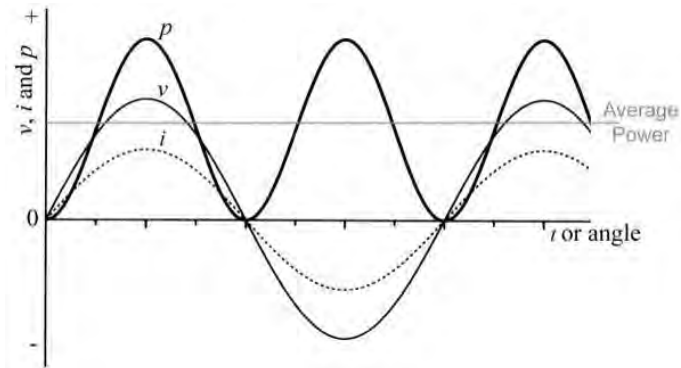
2.3.1 Beban Resistif

Beban resistif merupakan beban yang dihasilkan dari komponen yang bersifat murni tahanan contohnya adalah lampu pijar dan pemanas. Beban resistif sendiri memiliki sifat beban yang pasif, karena beban resistif ini tidak mampu memproduksi energi melainkan hanya bisa mengkonsumsi listrik. Beban resistif juga mempunyai sifat menghalangi elektron yang lewat, sehingga menyebabkan energi listrik terkonversi menjadi panas. Karena sifat tersebut maka beban resistif tidak merubah sifat-sifat listrik AC. Dengan kata lain, beban resistif tidak menggeser posisi gelombang maupun sumber listrik tersebut. Gambar 2.3 menunjukkan bahwa daya yang ada pada beban resistif akan selalu positif,

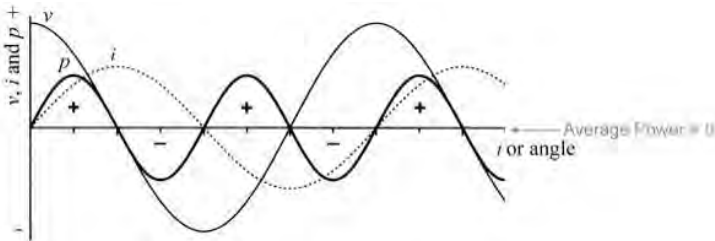
hal ini yang mengakibatkan beban resistif murni akan selalu menunjukkan 100% daya nyata. resistif akan selalu menunjukkan 100% daya nyata.

2.3.2 Beban Induktif

Beban induktif merupakan beban yang dihasilkan dari komponen lilitan kawat atau kumparan yang terdapat di berbagai macam peralatan listrik. Contohnya, motor dan transformator. Kumparan pada peralatan tersebut berguna untuk menciptakan medan magnet. Pembangkitan medan magnet tersebut yang menjadi beban induktif. Kumparan tersebut memiliki sifat menghalangi perubahan arus listrik. Terhalangnya perubahan arus mengakibatkan arus tertinggal beberapa derajat oleh tegangan listriknya. Pada gambar 2.4 ditunjukkan jika sumber listrik diberi beban induktif murni maka arus akan tertinggal sebesar 90° oleh tegangan. Inilah yang disebut dengan lagging.



Gambar 2.3 Gelombang sinusoidal resistif murni



Gambar2.4 Gelombang sinusoidal induktif murni

2.4 Demagnetisasi

Saat transformator di beri tegangan lagi, arus *inrush* yang timbul akan jauh melampaui arus nominalnya. Saat inti dari transformator masih mefluks sisa, arus pertama yang timbul dapat meningkat setara dengan arus saat terjadi hubung singkat. Hanya komponen-komponen yang bersifat resistif, seperti resistansi pada belitan, yang dapat mengurangi arus *inrush* untuk menjadi stabil dalam beberapa periode [8].

2.4.1 Metode-Metode Demagnetisasi

Dalam proses-proses demagnetisasi, ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan demagnetisasi tersebut. Berikut merupakan metode-metode yang bisa digunakan untuk mendemagnetisasi fluks sisa [8] :

- A. Demagnetisasi menggunakan getaran.
- B. Demagnetisasi menggunakan pemanas hingga sampai pada temperatur *curie*.
- C. Demagnetisasi listrik.

Karena transformator merupakan peralatan listrik, maka metode yang hanya bisa digunakan adalah metode demagnetisasi listrik. Pabrik bisa membuat tegangan nominal sesuai dengan frekuensi nominal transformator, yang dengan hal ini mengurangi tegangan, dan inti dapat terdemagnetisasi. Dalam beberapa kasus, tidak adanya tegangan yang dapat diatur untuk mengurangi fluks sisa. Alat yang bisa digunakan hanya sumber untuk satu fasa.

2.4.1.1 Demagnetisasi Listrik dengan Menggunakan Kapasitor

Demagnetisasi dengan menggunakan kapasitor dilakukan dengan membuat kapasitor sebagai saklar untuk *charge* dan *discharge*. Setelah transformator dihubungkan ke alat demagnetisasi maka fluks dari transformator akan masuk ke dalam kapasitor. Setelah kapasitor selesai *charging*, maka tegangan dalam kapasitor tersebut akan dibuang ke dalam transformator lagi yang seolah-olah menjadi baterai. Fluks akan habis seiring dengan berjalannya waktu karena adanya resistansi pada belitan.

2.4.1.2 Demagnetisasi Listrik dengan Menggunakan Sumber DC

Demagnetisasi dengan menggunakan sumber DC dilakukan dengan membuat rangkaian pada modul demagnetisasi menggunakan rangkaian *fullbridge* dan arus searah yang nantinya diubah menjadi arus bolak-balik berbentuk kotak dengan rangkaian *fullbridge* tersebut[9].

2.5 Teknik Akusisi Data

Teknik akusisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan, menyiapkan data, memprosesnya untuk menghasilkan data yang diinginkan. Sistem ini mengkonversi besaran fisis sumber data ke bentuk sinyal digital dan diolah oleh suatu komputer. Pengolahan dan pengontrolan proses oleh komputer memungkinkan penerapan akusisi data dengan software. Data akusisi memiliki beberapa komponen yaitu sumber, sebuah sensor, sinyal, *DAQ hardware*, *DAQ software*.

2.5.1 Sumber

Data akusisi dimulai dengan fenomena fisik atau properti fisik yang akan diukur. Apapun jenis properti fisik yang akan diukur, keadaan fisik tersebut ditransformasikan terlebih dahulu ke dalam bentuk terpadu yang dapat sampel dengan sistem akusisi data.

2.5.2 Sensor

Sensor merupakan perangkat yang merubah properti fisik menjadi sinyal listrik yang sesuai, misalnya arus atau tegangan. Kemampuan sistem akusisi data untuk mengukur sifat yang berbeda tergantung pada sensor yang cocok untuk properti yang diukur.

2.5.3 sinyal

Pengondisian sinyal mungkin diperlukan jika sensor tidak cocok untuk *hardware* DAQ yang digunakan. Sinyal mungkin perlu diperkuat, disaring, atau didemodulasi. Untuk keperluan transmisi, sinyal analog akan di tunggalkan kedalam bentuk digital. Setelah menjadi digital, sinyal dapat disandi untuk mengurangi dan memperbaiki kesalahan transmisi.

2.5.4 DAQ Hardware

DAQ *hardware* merupakan modul atau kartu yang dapat terhubung pada port komputer untuk antarmuka antara sinyal dan komputer. Modul tersebut tidak semuanya dijalankan permanen dengan komputer, ada yang dapat dioperasikan dari komputer tetapi DAQ tersebut sepenuhnya bekerja independen.

2.5.5 DAQ Software

DAQ *software* diperlukan untuk melihat hasil olahan dari DAQ *hardware* agar dapat dilihat dalam komputer. DAQ *software* juga digunakan untuk mengolah data yang sudah di simpan oleh DAQ *hardware* sesuai dengan keinginan pengguna.

BAB 3 METODOLOGI EKSPERIMEN DAN PENGAMBILAN DATA

3.1 Transformator Satu Phasa

Transformator digunakan sebagai objek dalam penelitian tugas akhir ini. Transformator yang digunakan merupakan transformator satu phasa dengan kapasitas daya 1 kVA. Gambar 3.1 menunjukkan transformator satu phasa yang digunakan dalam pengujian tugas akhir ini. Untuk spesifikasi transformator tersebut bisa dilihat dalam tabel 3.1.

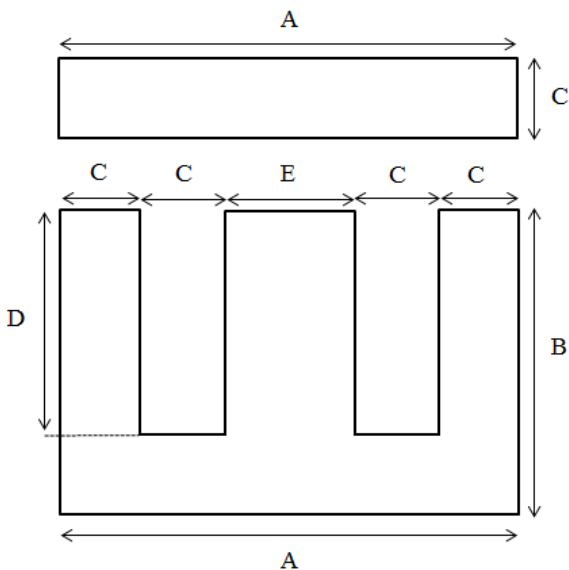


Gambar 3.1 Transformator satu phasa

Tabel 3.1 Spesifikasi transformer[7].

Spesifikasi Transformator	
Phasa	1 phasa
Kapasitas daya	1 kVA
Tegangan primer	220 V
Tegangan sekunder	127 V
Belitan primer	255 belitan
Belitan sekunder	147 belitan
Frekuensi	50 Hz

Transformator ini memiliki potongan inti yang berbentuk E-I. Untuk gambar potongan inti transformator ini dapat dilihat pada gambar 3.2. spesifikasi dimensi untuk potongan inti transformator ini akan dijelaskan pada tabel 3.2



Gambar 3.2 Potongan inti transformator satu phasa[7].

Tabel 3.2 Dimensi potongan inti [7].

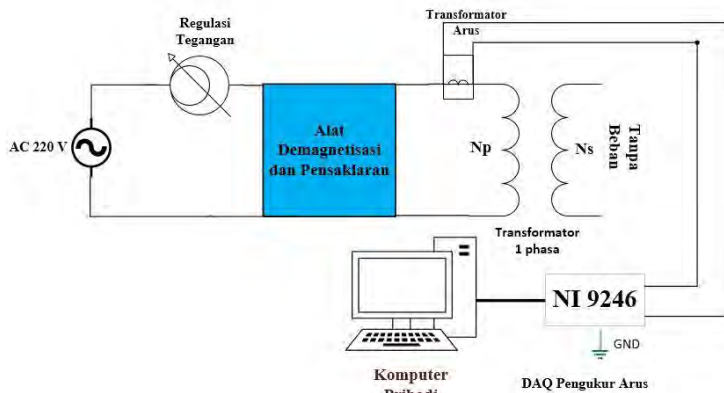
Dimensi potongan inti	Ukuran
A	15 cm
B	10 cm
C	2,5 cm
D	7,5 cm
E	5 cm
Ketebalan	8,5 cm

3.2 Modul Pengujian

Dalam penelitian ini terdapat tiga modul pengujian. Modul-modul pengujian ini di bedakan dari pembebanannya. Modul-modul pengujian tersebut merupakan modul pengujian arus *inrush* tanpa beban, modul pengujian arus *inrush* dengan beban resistif, modul pengujian arus *inrush* dengan beban induktif.

3.2.1 Modul Pengujian Arus *Inrush* Tanpa Beban

Modul ini digunakan untuk melihat nilai arus *inrush* yang muncul saat transformator tidak di beri beban. Dalam modul ini pertama-tama sumber tenaga listrik dihubungkan pada alat demagnetisasi dan pensaklaran, agar saat transformator di beri tegangan, tegangan tersebut akan muncul pada sudut 0° . Transformator dihubungkan setelah alat pensaklaran. Arus *inrush* yang diukur merupakan arus pada sisi primer transformator tersebut. Gambar 3.3 menunjukkan modul untuk pengujian arus *inrush* tanpa beban.

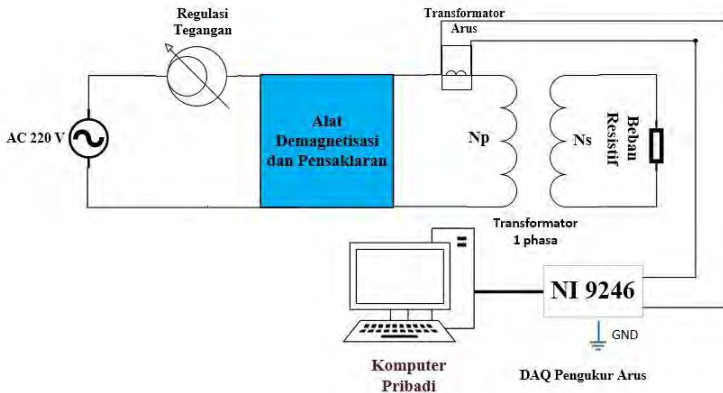


Gambar 3.3 Modul pengujian arus *inrush* tanpa beban

3.2.2 Modul Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Resistif

Modul ini digunakan untuk melihat nilai arus *inrush* yang muncul saat transformator di beri beban resistif. Dalam modul ini pertama-tama sumber tenaga listrik dihubungkan pada alat demagnetisasi

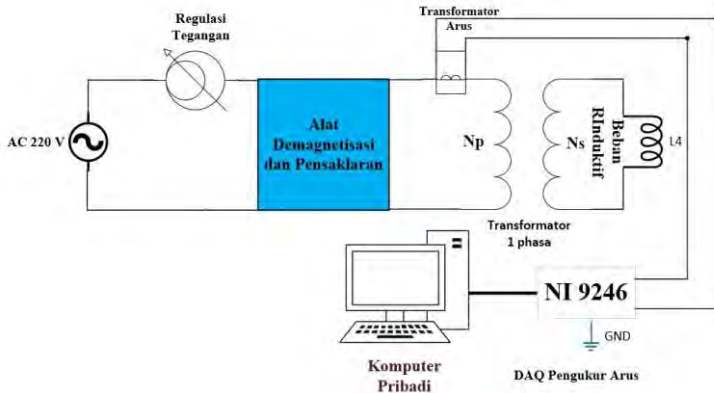
dan pensaklaran, agar saat transformator di beri tegangan, tegangan tersebut akan muncul pada sudut 0° . Transformator dihubungkan setelah alat pensaklaran. Arus *inrush* yang diukur merupakan arus pada sisi primer transformator tersebut. Pada sisi sekunder transformator dihubungkan beban resistif. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik arus *inrush* saat di beri beban resistif. Gambar 3.4 menunjukkan modul untuk pengujian arus *inrush* dengan beban resistif.



Gambar 3.4 Modul pengujian arus *inrush* dengan beban resistif

3.2.3 Modul Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif

Modul ini digunakan untuk melihat nilai arus *inrush* yang muncul saat transformator di beri beban induktif. Dalam modul ini pertama-tama sumber tenaga listrik dihubungkan pada alat demagnetisasi dan pensaklaran, agar saat transformator di beri tegangan, tegangan tersebut akan muncul pada sudut 0° . Transformator dihubungkan setelah alat pensaklaran. Arus *inrush* yang diukur merupakan arus pada sisi primer transformator tersebut. Pada sisi sekunder transformator dihubungkan beban induktif. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik arus *inrush* saat di beri beban induktif. Gambar 3.5 menunjukkan modul untuk pengujian arus *inrush* dengan beban induktif.



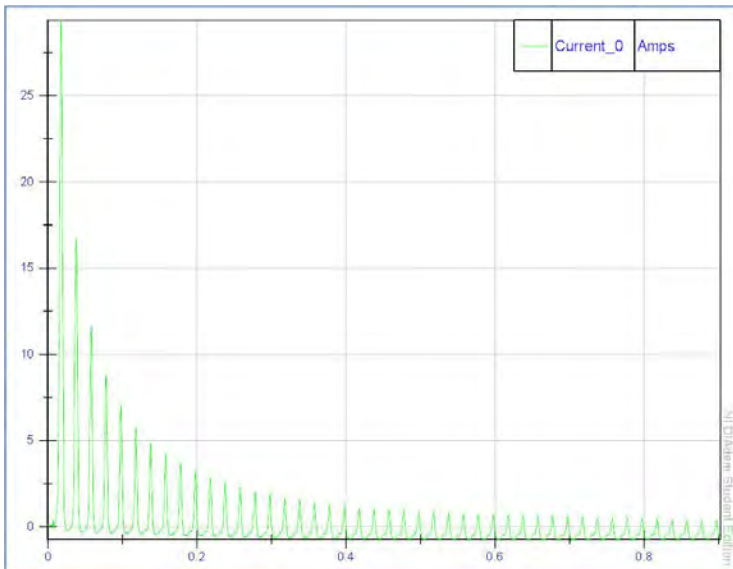
Gambar 3.5 Modul pengujian arus *inrush* dengan beban induktif

3.3 Pengambilan dan Pemotongan Data dengan Akusisi Data dan *LabVIEW*

Untuk mnegakusisi data pada penelitian ini digunakan perangkat keras *data acquisition* (DAQ) 9246 yang dibuat oleh National Instrument guna untuk mengukur dan merekam arus. DAQ 9246 dapat mengukur arus yang ada jika tersambung dengan transformator arus sebagai alat sensor arus yang berfungsi untuk membaca arus yang mengalir dalam sistem. Dalam penelitian ini transformator arus yang digunakan memiliki rasio 250/5. Selain untuk pengukuran, transformator arus juga berguna sebagai pengaman untuk DAQ 9246 dari arus lebih. Setelah DAQ 9246 merekam data arus, data tersebut akan tersimpan dalam perangkat lunak *LabVIEW*. Data yang sudah diakusisi dapat dilihat dalam perangkat lunak yang bernama DIAdem yang merupakan fitur dari perangkat lunak *LabVIEW*. Selain untuk melihat data, DIAdem juga berfungsi sebagai pengolah data. Data yang ada pada DIAdem dapat di potong sesuai dengan yang dibutuhkan. Gambar 3.6 menunjukkan DAQ 9246 yang digunakan. Gambar 3.7 menampilkan data dalam DIAdem. Transformator arus yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.6 DAQ 9246



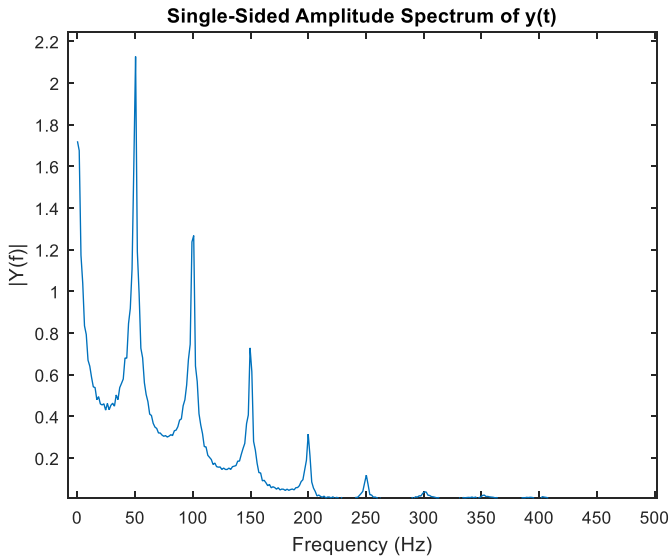
Gambar 3.7 Tampilan data pada DIAdem



Gambar 3.8 Transformator arus

3.4 Pengolahan Data dengan *Fast Fourier Transform* Menggunakan MATLAB

Setelah proses pemotongan data pada DIAdem, data-data yang ada di pindahkan ke dalam MATLAB untuk melihat hasil dari *fast fourier transform* pada setiap percobaan guna memudahkan untuk menganalisa hasil dari percobaan-percobaan yang dilakukan. Transformasi fourier adalah metode untuk mengubah suatu fungsi waktu yang periodik menjadi jumlahan dari fungsi-fungsi sinus dan cosinus dalam berbagai frekuensi. Dengan kata lain, transformasi fourier berfungsi untuk merubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi [10]. *Fast fourier transform* digunakan untuk mengubah data dari domain waktu atau data menjadi domain frekuensi agar dapat terlihat harmonisa yang terjadi pada ordenya. Karena gelombang sinusoidal murni hanya memiliki nilai harmonisa pada frekuensi fundamentalnya. Dalam analisa gelombang kita tidak bisa menganalisa dengan melihat bentuk gelombang saja. Gambar 3.9 akan menunjukkan gambar hasil gelombang yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

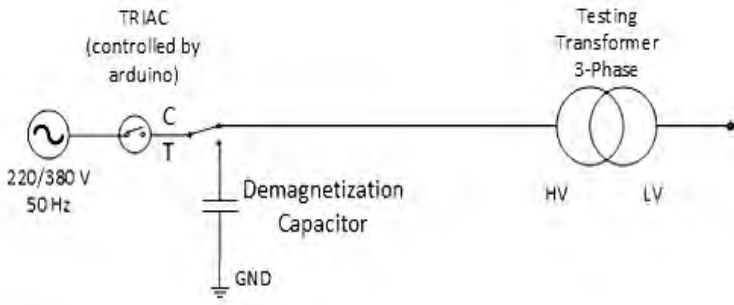


Gambar 3.9 Hasil dari *fast fourier transform*

3.5 Alat Demagnetisasi

Saat transformator dimatikan setelah di beri tegangan maka, akan timbul fluks sisa di dalam transformator tersebut. Untuk menghindari adanya fluks sisa maka digunakanlah alat demagnetisasi yang berguna untuk menghilangkan fluks sisa yang ada dalam transformator setelah transformator dimatikan.

Alat demagnetisasi yang digunakan dalam pengujian ini merupakan alat demagnetisasi menggunakan kapasitor. Kapasitor digunakan sebagai saklar untuk *charge* dan *discharge*. Setelah transformator dihubungkan ke alat demagnetisasi maka fluks dari transformator akan masuk ke dalam kapasitor. Setelah kapasitor selesai *charging*, maka tegangan dalam kapasitor tersebut akan dibuang ke dalam transformator lagi. Fluks akan habis seiring dengan berjalannya waktu. Gambar 3.10 menunjukkan skema dari alat demagnetisasi tersebut. Sedangkan alat dari demagnetisasi tersebut akan ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.10 Skema alat demagnetisasi[11]



Gambar 3.11 Gambar alat demagnetisasi dan pensaklaran

Dalam sistem yang digunakan, terdapat 7 komponen secara garis besar, yakni sumber AC 3 fasa 220/380 Volt, *fuse 60 Ampre*, rangkaian *zero crossing*, rangkaian pensakelaran *driver TRIAC*, rangkaian kontrol arduino nano, sakelar pilih dan *Shunt Capacitor*. Pilihan menu magnetisasi, sudut penyalan dan demagnetisasi dapat dilihat pada LCD modul dan pemilihan menu dapat dilakukan dari menekan *push button* yang ada pada modul kontroler arduino[11].

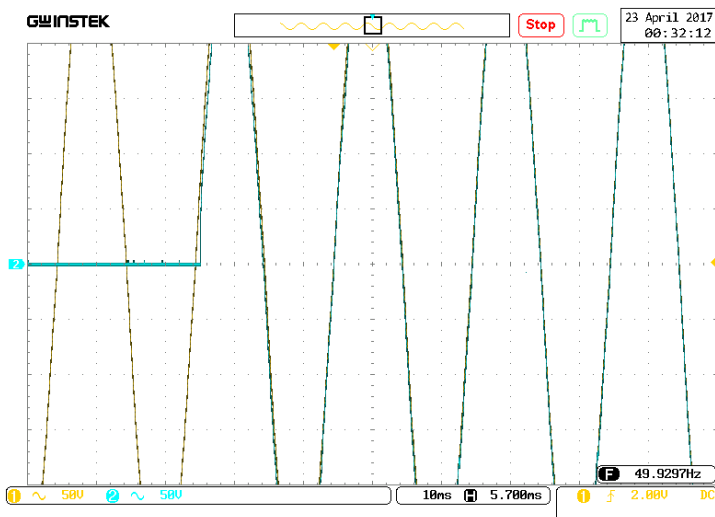
3.5.1 Sudut Penyalan

Selain digunakan untuk demagnetisasi, alat ini juga digunakan sebagai saklar untuk meng *energyze* transformator agar nyala pada sudut 0° . Hal ini dilakukan untuk agar dapat mengetahui nilai arus *inrush* maksimum yang bisa dihasilkan. Dapat dilihat pada gambar 3.12 bagaimana diagram blok pensakelaran dalam alat demagnetisasi tersebut.



Gambar 3.12 Diagram blok pensakelaran[11].

Mengatur sudut penyalan dilakukan dengan cara menggunakan rangkaian *zero crossing* sebagai pendeteksi persimpangan nol. Setelah itu, arduino berguna sebagai *delay time*. *Delay time* tersebut yang digunakan sebagai pengatur sudut penyalannya. Setelah itu digunakan *driver triac* sebagai pemicu triac setelah *driver triac* tersebut mendapatkan sinyal dari arduino. Gambar 3.13 merupakan gambar saat alat demagnetisasi digunakan sebagai saklar untuk penyalan pada sudut 0° . Alat demagnetisasi ini memiliki input atau masukan sumber yang bisa digunakan untuk peralatan tiga fasa. Akan tetapi, dalam penelitian ini transformator yang diuji merupakan transformator satu fasa, dan input atau sumber yang digunakan merupakan satu fasa juga. Dengan kata lain dua fasa input dari alat demagnetisasi tersebut tidak digunakan.



Gambar 3.13 Gambar tegangan dengan sudut penyalaaan 0°

3.5.2 Konsistensi Demagnetisasi Selama 9 Menit

Saat sebuah transformator di demagnetisasi maka fluks sisa yang terdapat pada transformator tersebut akan berkurang secara bersakala. Metode ini bertujuan untuk melihat konsistensi nilai arus *inrush* yang timbul saat trafo didemagnetisasi selama 9 menit. Tabel 3.3 menunjukkan nilai-nilai arus *inrush* untuk transformator yang tidak di beri beban saat tidak di demagnetisasi dan di demagnetisasi selama 9 menit. Dalam hal ini dapat dilihat bahwa alat demagnetisasi dapat mengurangi nilai arus *inrush* dan juga menjaga kestabilan atau konsistensi nilai arus *inrush* yang muncul setelah di demagnetisasi selama 9 menit.

Tabel 3.3 Nilai arus inrush saat tanpa demagnetisasi dan demagnetisasi selama 9 menit.

Demagnetisasi	0 menit	9 menit	9 menit	9 menit	9 menit	9 menit
<i>Inrush</i> (A)	42,5	29,5	27,9	27	29,6	26,5

3.6 Pembebanan

Pada penelitian ini pembebanan dilakukan untuk melihat karakteristik dari arus *inrush* yang timbul akibat macamm-macam pembebanan. Dalam penelitian ini beban yang digunakan merupakan beban resistif dan beban induktif.

3.6.1 Beban Resistif

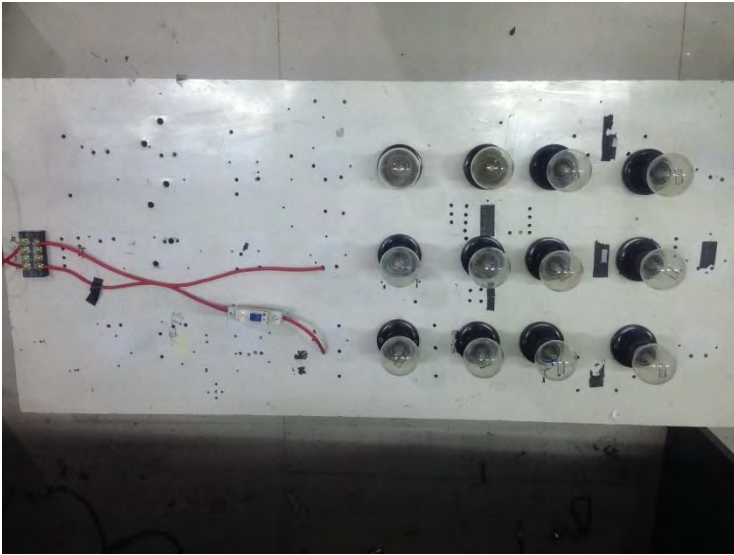
Beban resistif yang digunakan merupakan lampu pijar. Lampu pijar yang digunakan merupakan lampu pijar dengan daya 100 watt pada tegangan 220. Pada pengujian arus *inrush* dengan menggunakan beban resistif, pengambilan data dilakukan dengan lima variabel, yaitu menggunakan 2, 4, 6, 8, 10 lampu. Dalam setiap variabelnya, akan diambil data sebanyak lima kali juga untuk validasi data. Gambar 3.14 menunjukkan modul beban resistif yang digunakan.

3.6.2 Beban Induktif

Beban induktif yang digunakan merupakan belitan. Beban induktif yang digunakan merupakan memiliki daya 1000 VAR pada tegangan 220. Pada pengujian arus *inrush* dengan menggunakan beban induktif, akan dilakukan pengambilan data dengan lima variabel, yaitu menggunakan 66,66, 133,32, 199,98, 266,64, dan 333,3 VAR. Dalam setiap variabelnya, akan diambil data sebanyak lima kali juga untuk validasi data. Gambar 3.15 menunjukkan modul beban resistif yang digunakan. Beban tersebut mempunyai nilai nominal 1000 Var untuk tegangan 220 Volt. Karena tegangan pada sisi sekunder memiliki nilai tegangan 127 Volt maka nilai nominal beban pada sisi sekunder adalah 333,3 VAR.

3.7 Alur Pengujian

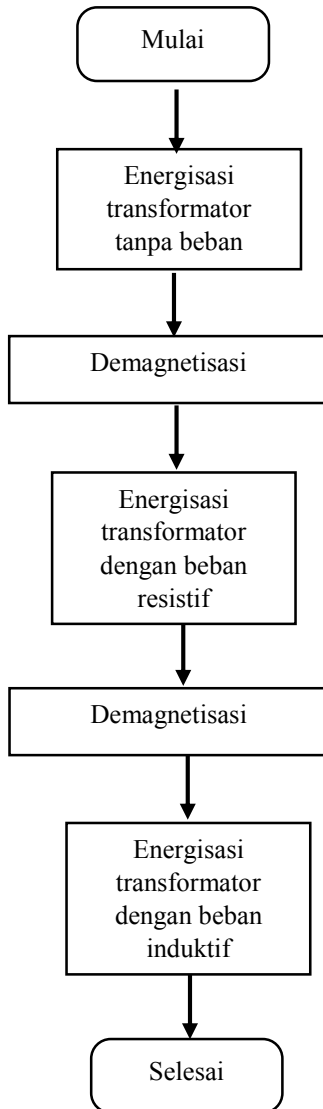
Pada pengujian untuk mengukur arus *inrush* dilakukan dalam beberapa langkah. Gambar 3.16 akan menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian untuk mendapatkan arus *inrush*.



Gambar 3.14 Modul beban resistif



Gambar 3.15 Modul beban induktif



Gambar 3.16 Diagram alur pengujian

Dari gambar 3.16 dapat dilihat bahwa pengujian pertama kali merupakan pengujian untuk melihat nilai arus *inrush* pada transformator tanpa beban. Pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali untuk validasi data. Setiap kali pengambilan data, transformator didemagnetisasi selama 9 menit.

Setelah pengambilan data arus inrush pada transformator tanpa beban dan proses demagnetisasi selesai, pengujian selanjutnya merupakan pengujian arus inrush pada transformator yang di beri beban resistif. Pada pengujian ini beban resistif yang merupakan lampu pijar diuji dengan menggunakan 2, 4, 6, 8, 10 lampu. Pada setiap variabelnya dilakukan lima kali percobaan untuk validasi data. Demagnetisasi dilakukan setiap sehabis pengambilan data dan dilakukan selama 9 menit.

Pengujian terakhir merupakan pengujian arus inrush pada transformator satu phasa yang di beri beban induktif. Beban induktif yang digunakan merupakan belitan. Pada pengujian beban induktif juga ada lima variabel yang diuji yaitu 66,66, 133,32, 199,98, 266,64, dan 333,3 VAR . Dalam setiap variabelnya, akan diambil data sebanyak lima kali juga untuk validasi data. Setelah setiap kali percobaan, transformator di demagnetisasi selama 9 menit.

Halaman ini sengaja dikosongkan

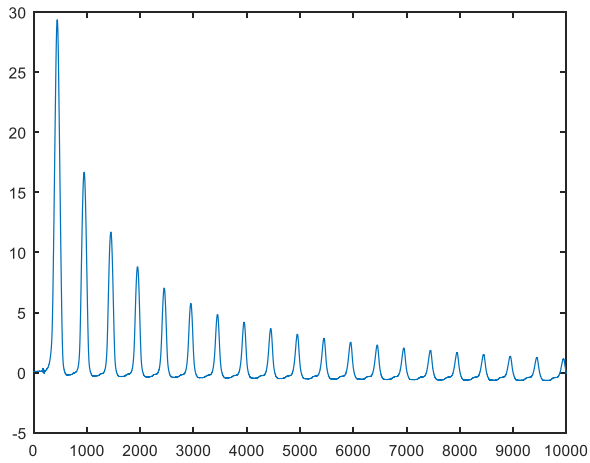
BAB 4 PERCOBAAN DAN ANALISA DATA

4.1 Pengujian Arus *Inrush* Tanpa Beban

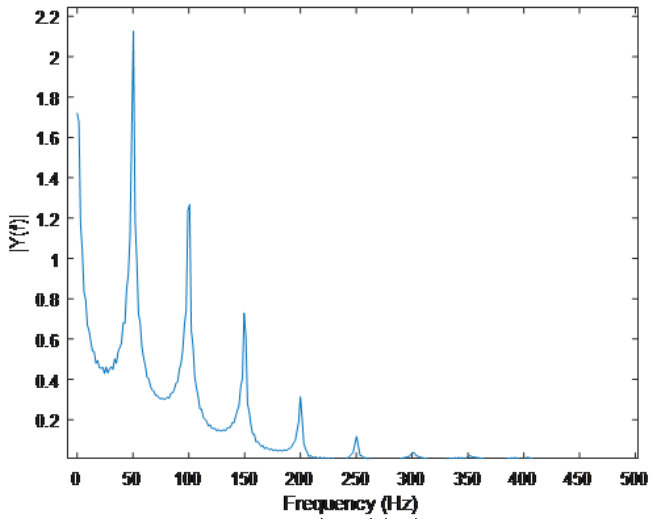
Pengujian pertama ini dilakukan untuk mengetahui nilai arus *inrush* yang didapatkan saat transformator di *energyze* tanpa beban. Pada percobaan ini transformator di beri tegangan saat sudut penyalaaan 0° . Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali guna melihat konsistensi nilai arus *inrush* transformator tanpa beban. Setiap kali percobaan selesai, transformator di demagnetisasi selama 9 menit. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran arus *inrush* saat transformator tidak di beri beban. Untuk bentuk gelombang dari arus *inrush* dapat dilihat pada gambar 4.1. Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari gelombang arus *inrush* yang sudah di transformasi ke dalam bentuk *fast fourier transform*. Dapat dilihat dalam pengujian arus *inrush* tanpa beban, hasil harmonisa pada arus *inrush* transformator tanpa beban sangat buruk karena nilai harmonisa yang ada tidak hanya ada pada frekuensi fundamentalnya. Nilai harmonisa yang muncul juga cukup tinggi pada tiap ordenya. Hal ini memunjukkan bahwa saat transformator tidak dihubungkan ke beban, harmonisa yang muncul akan lebih besar, dan arus *inrush* yang muncul akan lebih lama mencapai kondisi steady-statenya. Pada percobaan arus *inrush* dengan transformator tanpa beban, juga terlihat bahwa nilai arus *inrush* yang ditimbulkan sangat tinggi dibandingkan dengan percobaan-percobaan lainnya. Pada percobaan arus *inrush* dengan transformator tanpa beban juga dapat dilihat bahwa, ada harmonisa yang timbul pada frekuensi 0. Hal ini menunjukkan adanya komponen DC pada arus *inrush* saat transformator tidak dihubungkan dengan beban.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran arus *inrush* tanpa beban

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	29,5 A	27,9 A	27 A	29,6 A	26,8 A



Gambar 4.1 Arus *inrush* tanpa beban



Gambar 4.2 FFT arus *inrush* tanpa beban

4.2 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Resistif

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui nilai arus *inrush* dan karakteristik yang didapatkan saat transformator di *energyze* dengan beban resistif. Pada percobaan ini transformator di beri tegangan saat sudut penyalan 0° . Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap pembebanannya guna melihat konsistensi nilai arus *inrush* transformator dengan beban resistif. Setiap kali percobaan selesai, transformator di demagnetisasi selama 9 menit

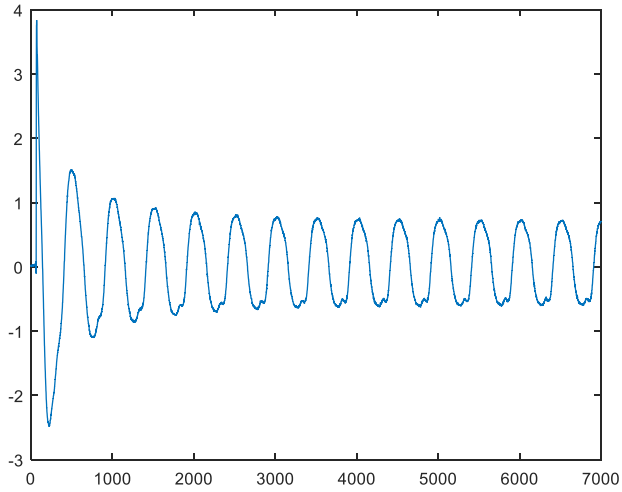
4.2.1. Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban 2 Lampu Pijar

Percobaan pertama untuk beban resistif dilakukan dengan memberikan beban pada transformator 2 buah lampu pijar. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran arus *inrush* saat transformator di beri beban 2 lampu pijar. Gambar 4.3 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 2 lampu pijar, sedangkan gambar 4.4 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

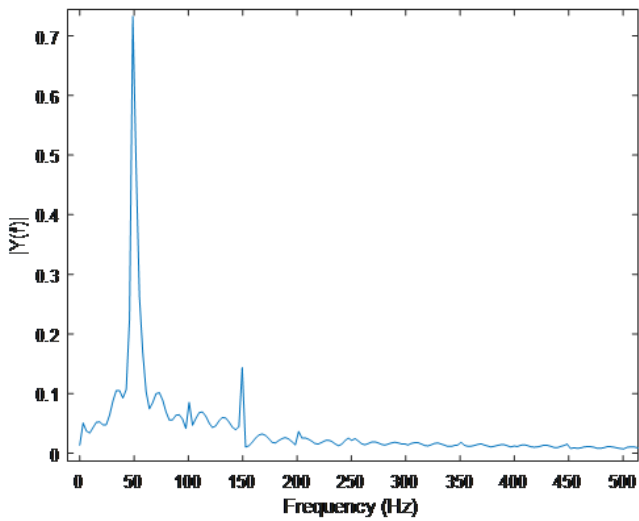
Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan 2 lampu pijar memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 0,75. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 2 lampu pijar masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 2 lampu pijar, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 2 lampu pijar

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	3,8 A	3,7 A	4,4 A	3,8 A	3,9 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	0,625 A	0,625 A	0,625 A	0,625 A	0,625 A
Z_s	203,3 Ω	203,3 Ω	203,3 Ω	203,3 Ω	203,3 Ω



Gambar 4.3 Arus *inrush* dengan beban 2 lampu pijar



Gambar 4.4 FFT arus *inrush* dengan beban 2 lampu pijar

4.2.2. Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban 4 Lampu Pijar

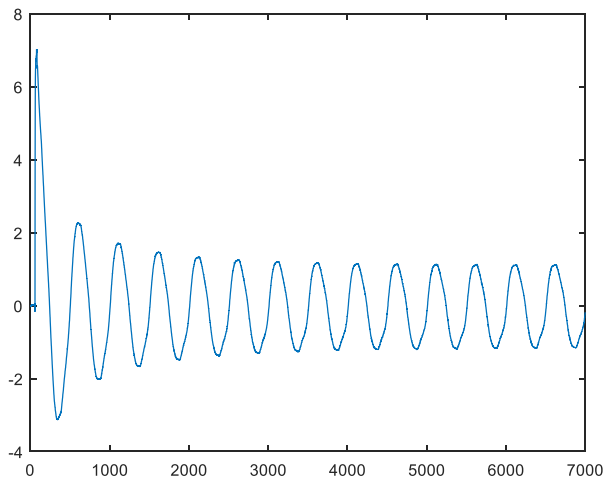
Percobaan selanjutnya untuk beban resistif dilakukan dengan memberikan beban pada transformator 4 buah lampu pijar. Percobaan juga dilakukan sebanyak 5 kali. Untuk tabel 4.3 menunjukkan hasil pengukuran arus *inrush* saat transformator di beri beban 4 lampu pijar. Gambar 4.5 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 4 lampu pijar. Gambar 4.6 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan 4 lampu pijar memiliki harmonisa yang pada frekuensi fundamentalnya sebesar 1,35. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 4 lampu pijar masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 4 lampu pijar, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni.

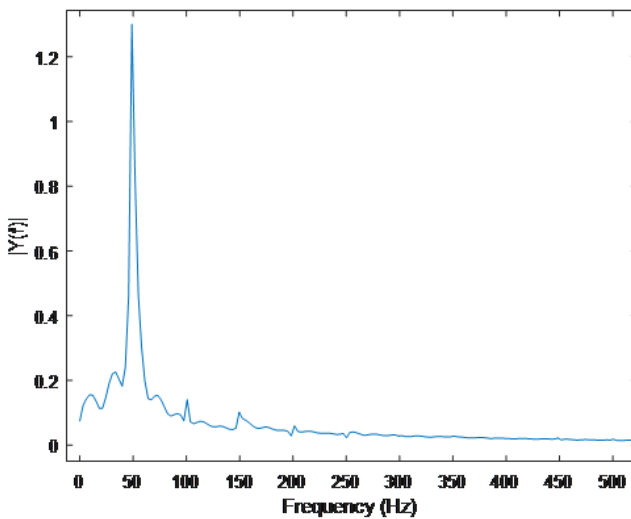
Juga dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 4 lampu pijar, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 2 lampu pijar. Pada saat transformator di beri beban 4 lampu pijar, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 2 lampu pijar.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 4 lampu pijar

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	7 A	5,9 A	7,9 A	6,9 A	7,4 A
Vs	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
Is	1,25 A	1,25 A	1,25 A	1,25 A	1,25 A
Zs	101,6 Ω	101,6 Ω	101,6 Ω	101,6 Ω	101,6 Ω



Gambar 4.5 Arus *inrush* dengan beban 4 lampu pijar



Gambar 4.6 FFT arus *inrush* dengan beban 4 lampu pijar

4.2.3. Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban 6 Lampu Pijar

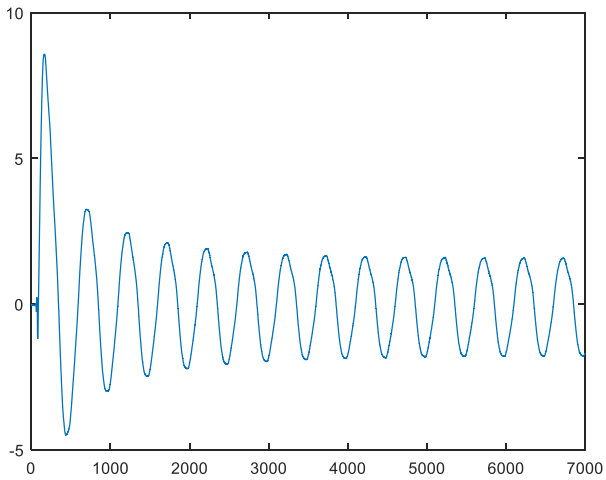
Percobaan ketiga untuk beban resistif dilakukan dengan memberikan beban pada transformator 6 buah lampu pijar. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran arus *inrush* saat transformator di beri beban 6 lampu pijar. Gambar 4.7 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 6 lampu pijar, sedangkan gambar 4.8 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan 6 lampu pijar memiliki harmonisa yang pada frekuensi fundamentalnya sebesar 2. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 6 lampu pijar masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat transformator di beri beban 6 lampu pijar, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni.

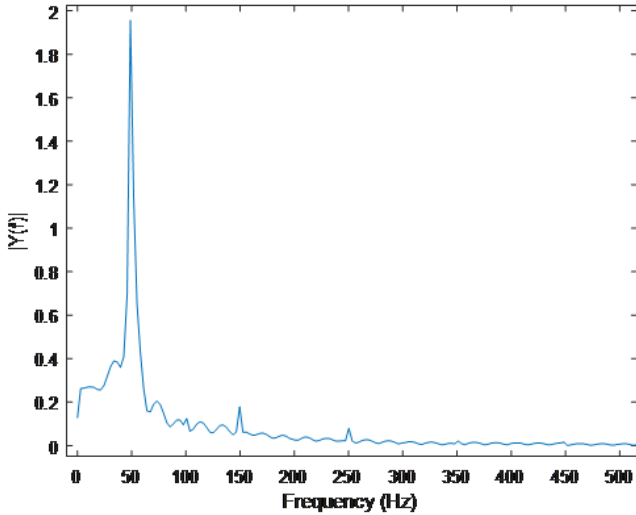
Dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 6 lampu pijar, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 4 lampu pijar. Pada saat transformator di beri beban 6 lampu pijar, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 4 lampu pijar.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 6 lampu pijar

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	8,5 A	8,6 A	8,5 A	9,1 A	9,2 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	1,88 A	1,88 A	1,88 A	1,88 A	1,88 A
Z_s	67,55 Ω	67,55 Ω	67,55 Ω	67,55 Ω	67,55 Ω



Gambar 4.7 Arus *inrush* dengan beban 6 lampu pijar



Gambar 4.8 FFT arus *inrush* dengan beban 6 lampu pijar

4.2.4. Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban 8 Lampu Pijar

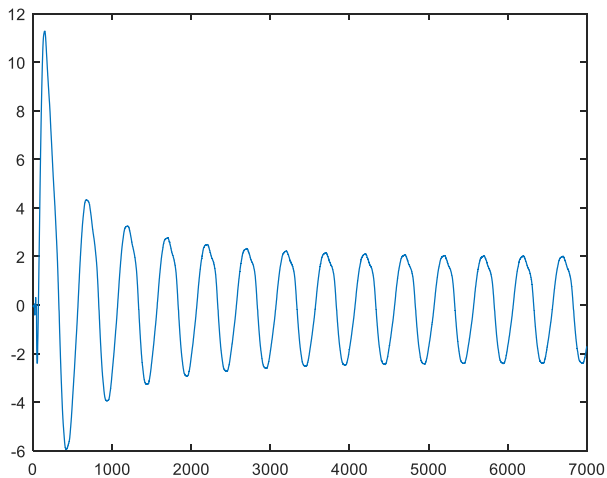
Percobaan selanjutnya untuk beban resistif dilakukan dengan memberikan beban pada transformator 8 buah lampu pijar. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali. Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengukuran arus *inrush* saat transformator di beri beban 8 lampu pijar. Gambar 4.9 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 4 lampu pijar, sedangkan gambar 4.10 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan 8 lampu pijar memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 2,6. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 8 lampu pijar masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 8 lampu pijar, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni.

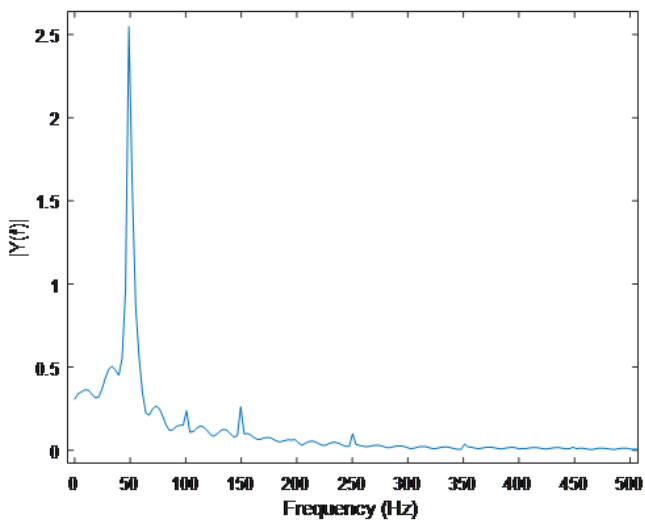
Dan dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 8 lampu pijar, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 6 lampu pijar. Pada saat transformator di beri beban 8 lampu pijar, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 6 lampu pijar.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 8 lampu pijar

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	11,2 A	11,3 A	12,5 A	11,8 A	12 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	2,5 A	2,5 A	2,5 A	2,5 A	2,5 A
Z_s	50,8 Ω	50,8 Ω	50,8 Ω	50,8 Ω	50,8 Ω



Gambar 4.9 Arus *inrush* dengan beban 8 lampu pijar



Gambar 4.10 FFT arus *inrush* dengan beban 8 lampu pijar

4.2.5. Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban 10 Lampu Pijar

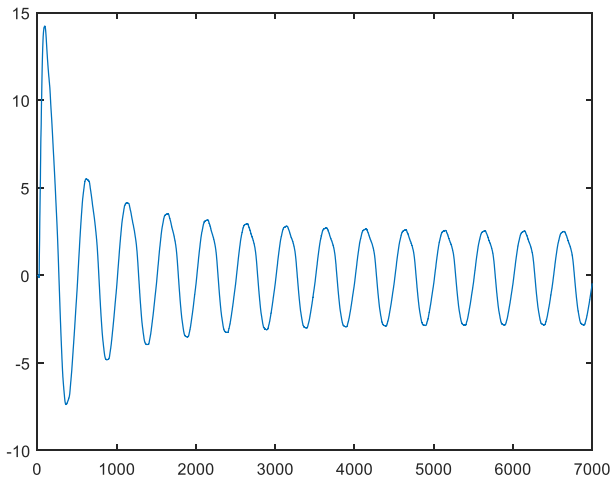
Percobaan terakhir untuk beban resistif dilakukan dengan memberikan beban pada transformator 10 buah lampu pijar. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali. Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengukuran arus *inrush* saat transformator di beri beban 10 lampu pijar. Gambar 4.11 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 10 lampu pijar, sedangkan gambar 4.12 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan 10 lampu pijar memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 3,2. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 10 lampu pijar masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 10 lampu pijar, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni.

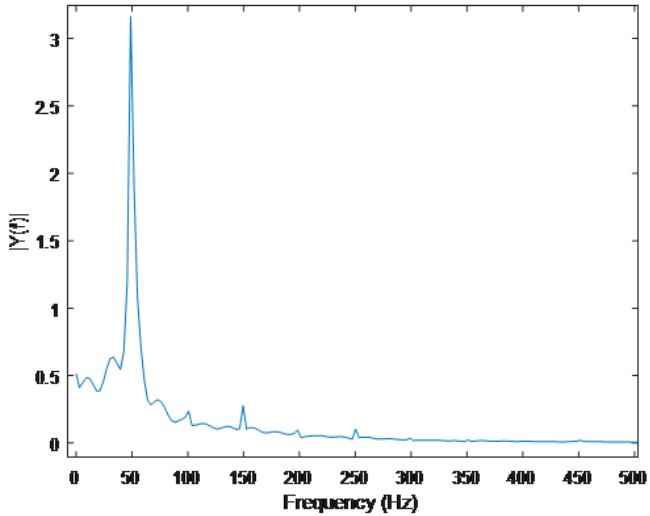
Dan juga dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 10 lampu pijar, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 8 lampu pijar. Pada saat transformator di beri beban 10 lampu pijar, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 8 lampu pijar.

Tabel 4.6 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 10 lampu pijar

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	14,2 A	13,1 A	14 A	14,1 A	14 A
Vs	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
Is	3,13 A	3,13 A	3,13 A	3,13 A	3,13 A
Zs	40,57 Ω	40,57 Ω	40,57 Ω	40,57 Ω	40,57 Ω



Gambar 4.11 Arus *inrush* dengan beban 10 lampu pijar



Gambar 4.12 FFT arus *inrush* dengan beban 10 lampu pijar

4.3 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui nilai arus *inrush* dan karakteristik yang didapatkan saat transformator di *energyze* dengan beban induktif. Pada percobaan ini transformator di beri tegangan saat sudut penyalan 0° . Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap pembebanannya guna melihat konsistensi nilai arus *inrush* transformator dengan beban induktif. Setiap kali percobaan selesai, transformator di demagnetisasi selama 9 menit. Beban induktif yang digunakan merupakan belitan.

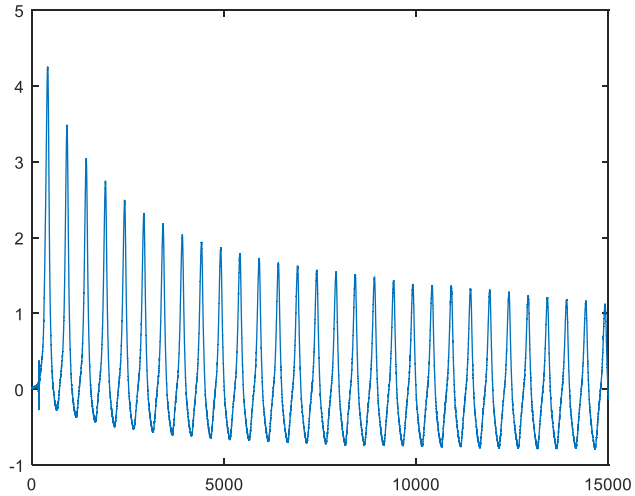
4.3.1 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif 66,66 VAR

Untuk beban induktif percobaan pertama dengan memberikan beban induktif sebesar 66,66 VAR. Percobaan juga di lakukan sebanyak 5 kali agar mengetahui konsistensi dari nilai arus *inrush*. Tabel 4.7 menunjukkan hasil yang di dapatkan saat mengambil data beban induktif dengan beban 66,66 VAR Gambar 4.13 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 66,66 VAR, sedangkan gambar 4.14 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

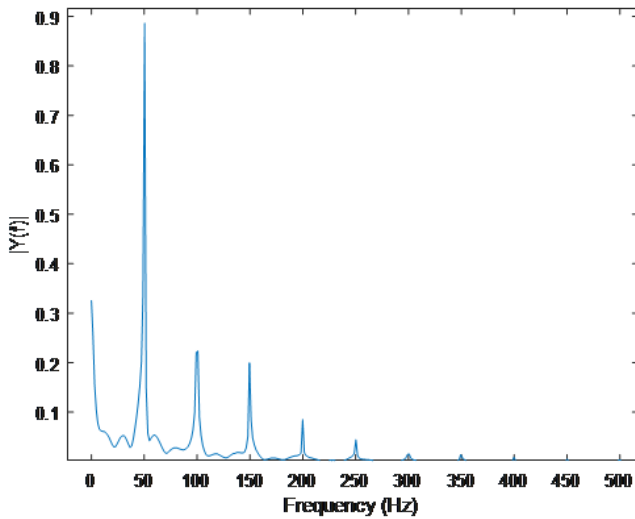
Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan beban 66,66 VAR memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 0,9. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban beban 66,66 VAR masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban beban 66,66 VAR, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni. Pada percobaan ini juga dapat dilihat saat diberi beban 66,66 VAR arus *inrush* yang ada pada transformator memiliki harmonisa pada frekuensi 0. Hal ini menunjukkan adanya komponen DC saat transformator di beri beban 66,66 VAR.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 66,66 VAR

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	4,2 A	4,4 A	4,4 A	4 A	3,5 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	0,51 A	0,51 A	0,51 A	0,51 A	0,51 A
Z_s	249 Ω	249 Ω	249 Ω	249 Ω	249 Ω



Gambar 4.13 Arus *inrush* dengan beban 66,66 VAR



Gambar 4.14 FFT arus *inrush* dengan beban 66,66 VAR

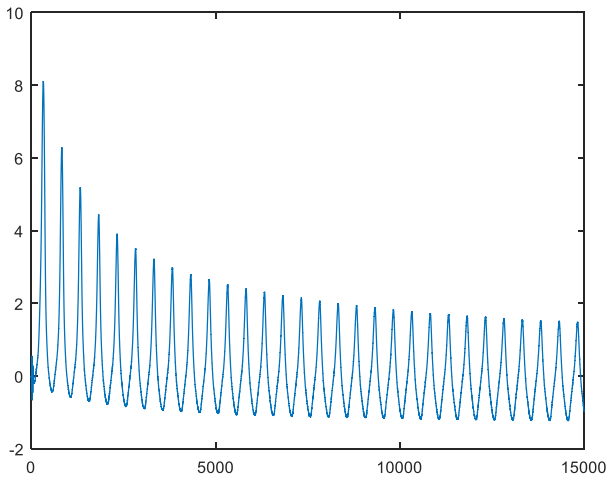
4.3.2 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif 133,32 VAR

Pada percobaan selanjutnya untuk beban induktif, beban induktif yang diberikan yaitu sebesar 133,32 VAR. Percobaan juga dilakukan sebanyak 5 kali agar mengetahui konsistensi dari nilai arus *inrush*. Tabel 4.8 menunjukkan hasil yang didapatkan saat mengambil data beban induktif dengan beban 133,32 VAR Gambar 4.15 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 133,32 VAR, sedangkan gambar 4.16 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

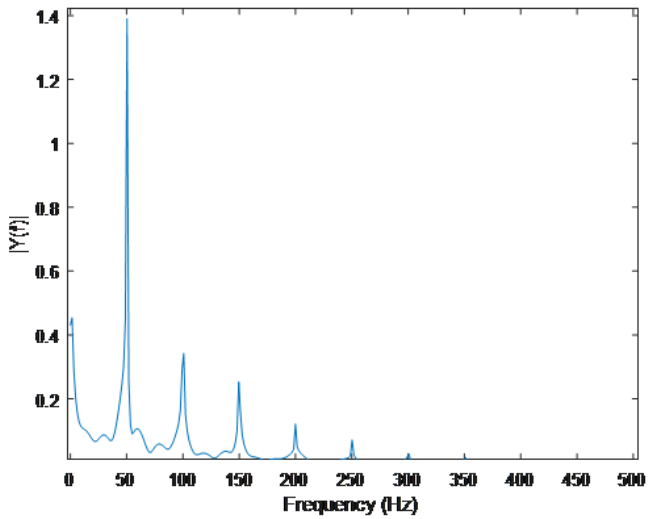
Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan beban 133,32 VAR memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 1,4. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 133,32 VAR masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 133,32 VAR, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni. Dan juga dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 133,32 VAR, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 66,66 VAR. Pada saat transformator di beri beban 133,32 VAR, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 66,66 VAR. Pada percobaan ini juga dapat dilihat saat diberi beban 133,32 VAR arus *inrush* yang ada pada transformator memiliki harmonisa pada frekuensi 0. Hal ini menunjukkan adanya komponen DC saat transformator di beri beban 133,32 VAR yang juga lebih besar dibandingkan dengan harmonisa pada frekuensi 0 dengan beban 66,66 VAR.

Tabel 4.8 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 133,32 VAR

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	8,11 A	8,2 A	7 A	7,3 A	8,6 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	1,01 A	1,01 A	1,01 A	1,01 A	1,01 A
Z_s	125,7 Ω	125,7 Ω	125,7 Ω	125,7 Ω	125,7 Ω



Gambar 4.15 Arus *inrush* dengan beban 133,32 VAR



Gambar 4.16 FFT arus *inrush* dengan beban 133,32 VAR

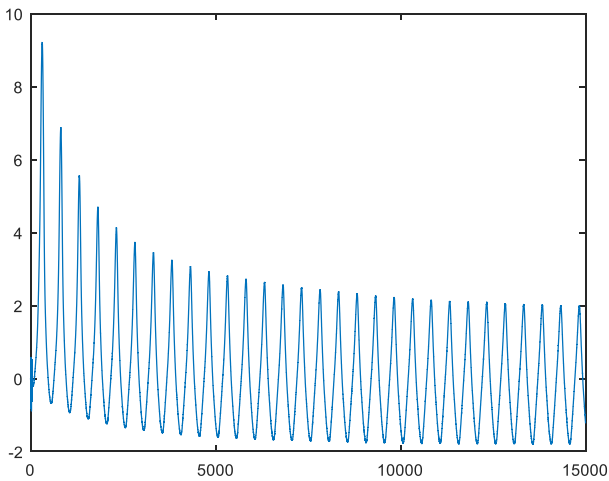
4.3.3 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif 199,98 VAR

Untuk percobaan ketiga, dilakukan dengan memberikan beban induktif sebesar 199,98 VAR. Percobaan juga di lakukan sebanyak 5 kali agar mengetahui konsistensi dari nilai arus *inrush*. Tabel 4.9 menunjukkan hasil yang di dapatkan saat mengambil data beban induktif dengan beban 199,98 VAR Gambar 4.17 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 199,98 VAR, sedangkan gambar 4.18 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

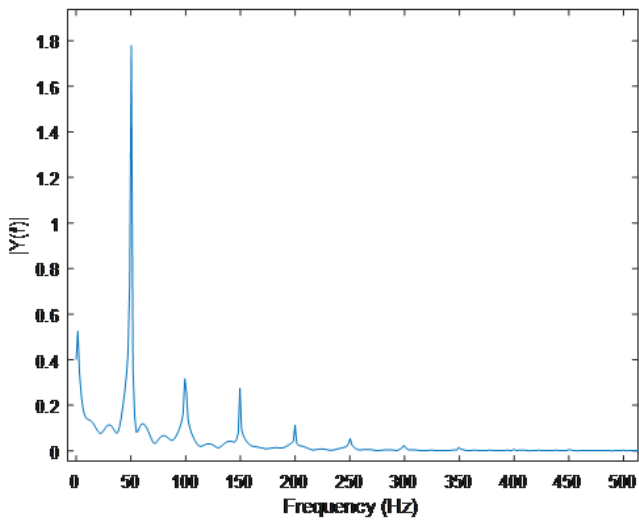
Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan beban 199,98 VAR memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 1,8. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 199,98 VAR masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 199,98 VAR, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni. Dan juga dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 199,98 VAR, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 133,32 VAR. Pada saat transformator di beri beban 199,98 VAR, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 133,32 VAR. Pada percobaan ini juga dapat dilihat saat diberi beban 199,98 VAR arus *inrush* yang ada pada transformator memiliki harmonisa pada frekuensi 0. Hal ini menunjukkan adanya komponen DC saat transformator di beri beban 199,98 VAR yang juga lebih besar dibandingkan dengan harmonisa pada frekuensi 0 dengan beban 133,32 VAR.

Tabel 4.9 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 199,98 VAR

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	9,1 A	9,9 A	8,7 A	10,6 A	10,1 A
Vs	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
Is	1,54 A	1,54 A	1,54 A	1,54 A	1,54 A
Zs	82,46 Ω	82,46 Ω	82,46 Ω	82,46 Ω	82,46 Ω



Gambar 4.17 Arus *inrush* dengan beban 199,98 VAR



Gambar 4.18 FFT arus *inrush* dengan beban 199,98 VAR

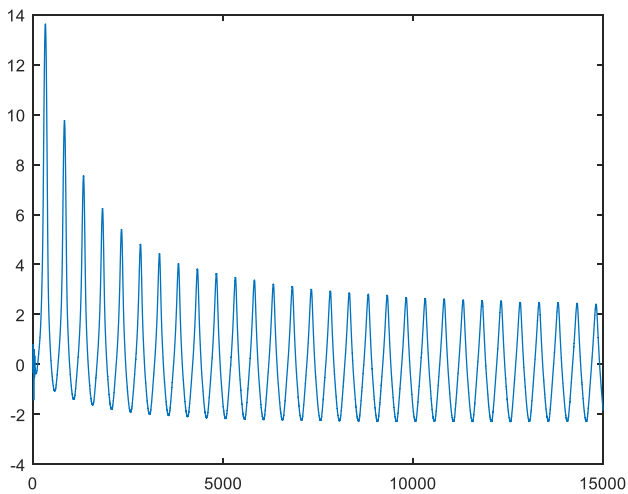
4.3.4 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif 266,64 VAR

Selanjutnya, percobaan ketiga dengan memberikan beban induktif sebesar 266,64 VAR. Percobaan juga di lakukan sebanyak 5 kali agar mengetahui konsistensi dari nilai arus *inrush*. Tabel 4.10 menunjukkan hasil yang di dapatkan saat mengambil data beban induktif dengan beban 266,64 VAR Gambar 4.19 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 266,64 VAR, sedangkan gambar 4.20 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

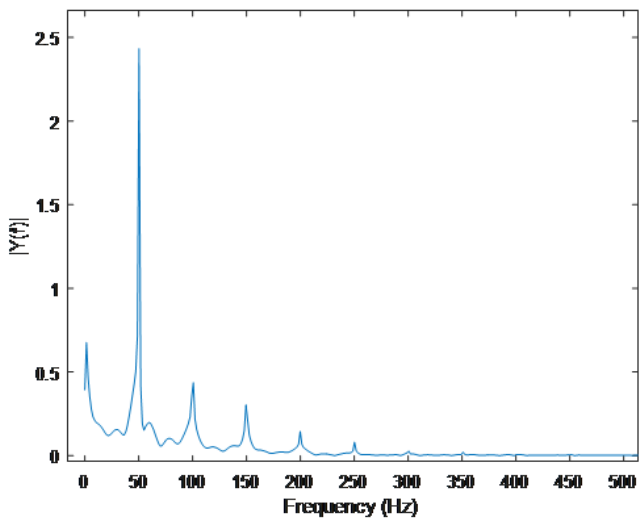
Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan beban 266,64 VAR memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 2,5. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 266,64 VAR masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 266,64 VAR, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni. Dan juga dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 266,64 VAR, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 199,98 VAR. Pada saat transformator di beri beban 266,64 VAR, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 199,98 VAR. Pada percobaan ini juga dapat dilihat saat diberi beban 266,64 VAR arus *inrush* yang ada pada transformator memiliki harmonisa pada frekuensi 0. Hal ini menunjukkan adanya komponen DC saat transformator di beri beban 266,64 VAR yang juga lebih besar dibandingkan dengan harmonisa pada frekuensi 0 dengan beban 199,98 VAR.

Tabel 4.10 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 266,64 VAR

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	13,6 A	13,7 A	14,9 A	13,6 A	13,8 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	2,03 A	2,03 A	2,03 A	2,03 A	2,03 A
Z_s	62,56 Ω	62,56 Ω	62,56 Ω	62,56 Ω	62,56 Ω



Gambar 4.19 Arus *inrush* dengan beban 266,64 VAR



Gambar 4.20 FFT arus *inrush* dengan beban 266,64 VAR

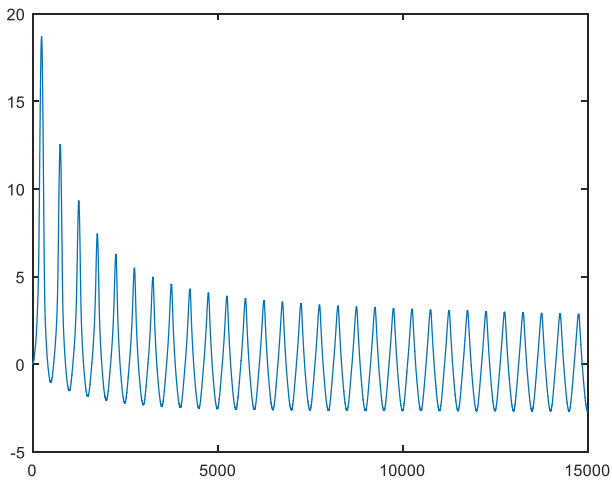
4.3.5 Pengujian Arus *Inrush* dengan Beban Induktif 333,3 VAR

Percobaan terakhir untuk beban induktif, dengan memberikan beban induktif sebesar 333,3 VAR. Percobaan juga di lakukan sebanyak 5 kali agar mengetahui konsistensi dari nilai arus *inrush*. Tabel 4.11 menunjukkan hasil yang di dapatkan saat mengambil data beban induktif dengan beban 333,3 VAR Gambar 4.21 menunjukkan bentuk gelombang arus *inrush* saat di beri beban 333,3 VAR, sedangkan gambar 4.22 menunjukkan hasil dari gelombang tersebut yang sudah di rubah ke dalam bentuk *fast fourier transform*.

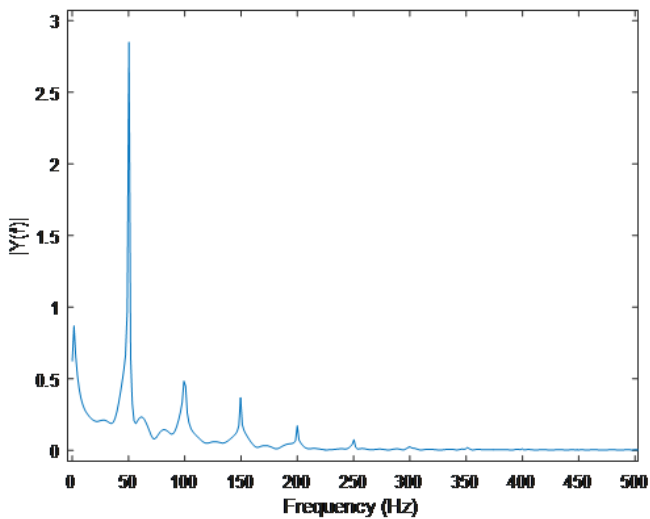
Dapat dilihat bahwa pengujian arus *inrush* pada transformator dengan menggunakan beban 333,3 VAR memiliki harmonisa pada frekuensi fundamentalnya sebesar 2,9. Pada orde berikutnya arus *inrush* dengan beban 333,3 VAR masih memiliki nilai harmonisa. Hal ini menunjukkan bahwa saat transformator di beri beban 333,3 VAR, gelombang yang timbul belum sinusoidal murni. Dan juga dapat dilihat pada saat transformator di beri beban 333,3 VAR, arus *inrush* yang timbul lebih besar dibandingkan dengan arus *inrush* saat transformator di beri beban 266,64 VAR. Pada saat transformator di beri beban 333,3 VAR, harmonisa yang timbul juga akan lebih besar dibandingkan dengan harmonisa yang di timbulkan saat transformator di beri beban 266,64 VAR. Pada percobaan ini juga dapat dilihat saat diberi beban 333,3 VAR arus *inrush* yang ada pada transformator memiliki harmonisa pada frekuensi 0. Hal ini menunjukkan adanya komponen DC saat transformator di beri beban 333,3 VAR yang juga lebih besar dibandingkan dengan harmonisa pada frekuensi 0 dengan beban 266,64 VAR.

Tabel 4.11 Hasil pengukuran arus *inrush* dengan beban 333,3 VAR

Variabel	Percobaan				
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima
<i>Inrush</i>	18,6 A	17,5 A	17,6 A	19,3 A	19,5 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	2,55 A	2,55 A	2,55 A	2,55 A	2,55 A
Z_s	49,8 Ω	49,8 Ω	49,8 Ω	49,8 Ω	49,8 Ω



Gambar 4.21 Arus *inrush* dengan beban 333,3 VAR



Gambar 4.22 FFT arus *inrush* dengan beban 333,3 VAR

4.4 Analisa Data

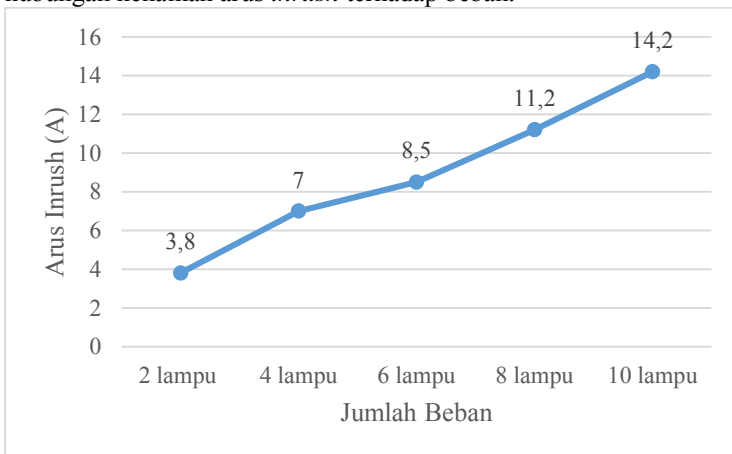
Setelah percobaan-percobaan untuk melihat arus *inrush* selesai dilakukan, didapatkan data-data yang digunakan untuk menganalisa perbedaan-perbedaan karakteristik yang ada pada setiap percobaan. Berikut merupakan analisa-analisa data dari percobaan.

4.4.1 Arus *Inrush* Tanpa Beban

Dalam percobaan pengujian arus *inrush* tanpa beban, dapat dilihat bahwa saat transformator tidak di beri beban, arus *inrush* yang timbul sangat tinggi. Nilai arus *inrush* paling besar dalam 5 kali percobaan merupakan 29,5 A. Nilai arus *inrush* pada transformator tanpa beban tidak bisa dilihat secara pastinya karena nilai fluks sisa pada transformator tersebut tidak di ketahui.

4.4.2 Arus *Inrush* dengan Beban Resistif

Pada percobaan pengujian arus *inrush* menggunakan beban resistif, dilakukan dengan melihat perbedaan dari 5 buah variabel beban yang dilakukan secara berskala. Dari masing-masing variabel tersebut di lakukan juga 5 kali percobaan untuk melihat konsistensi atau tren dari nilai arus *inrush* pada tiap-tiap variabelnya. Tabel 4.12 akan menunjukkan nilai-nilai yang di dapatkan pada percobaan resistif dengan setiap variabelnya. Gambar 4.23 menjeleaskan tentang hubungan kenaikan arus *inrush* terhadap beban.



Gambar 4.23 Grafik arus *inrush* terhadap kenaikan beban resistif

Tabel 4.12 Hasil pengukuran arus *inrush* beban resistif

Variabel	Percobaan				
	2 lampu	4 lampu	6 lampu	8 lampu	10 lampu
<i>Inrush</i>	3,8 A	7 A	8,5 A	11,2 A	14,2 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	0,625 A	1,25 A	1,88 A	2,5 A	3,13 A
Z_s	203,3 Ω	101,6 Ω	67,55 Ω	50,8 Ω	40,57 Ω

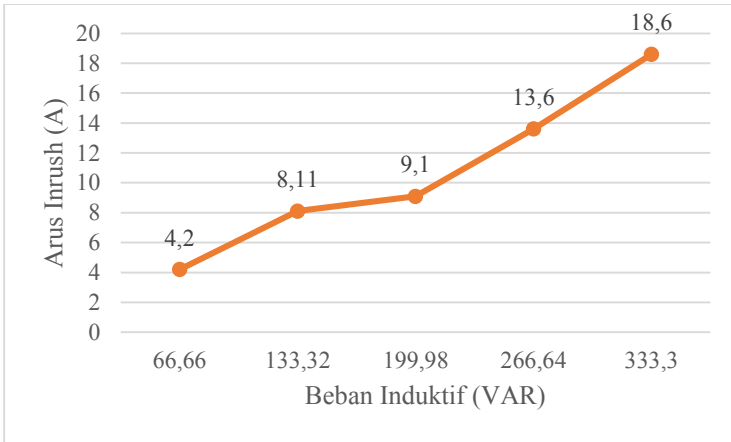
Dari tabel 4.12 dapat di lihat untuk beban resistif, seiring dengan bertambahnya jumlah lampu, arus *inrush* yang timbul juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya jumlah lampu membuat arus sekunder bertambah juga, yang mengakibatkan turunnya nilai dari impedansi sekunder. Mengacu pada data tersebut dapat diambil kesimpulan, pada beban resistif, semakin besar impedansi sekunder maka arus *inrush* yang di timbulkan akan semakin kecil.

4.4.3 Arus *Inrush* dengan Beban Induktif

Untuk percobaan pengambilan data dengan beban induktif, sama dengan percobaan sebelumnya, percobaan dilakukan dengan melihat perbedaan dari 5 buah variabel beban yang dilakukan secara berskala. Dari masing-masing variabel tersebut di lakukan juga 5 kali percobaan untuk melihat konsistensi dari nilai arus *inrush* pada tiap-tiap variabelnya. Tabel 4.13 akan menunjukkan hasil pengujian arus *inrush* dengan beban induktif. Gambar 4.24 menjeleaskan tentang hubungan kenaikan arus *inrush* terhadap beban.

Tabel 4.13 Hasil pengukuran arus *inrush* beban induktif

Variabel	Percobaan				
	66,66 VAR	133,32 VAR	199,98 VAR	266,64 VAR	333,3 VAR
<i>Inrush</i>	4,2 A	8,11 A	9,1 A	13,6 A	18,6 A
V_s	127 V	127 V	127 V	127 V	127 V
I_s	0,51 A	1,01 A	1,54 A	2,03 A	2,55 A
Z_s	249 Ω	125,7 Ω	82,46 Ω	62,56 Ω	49,8 Ω



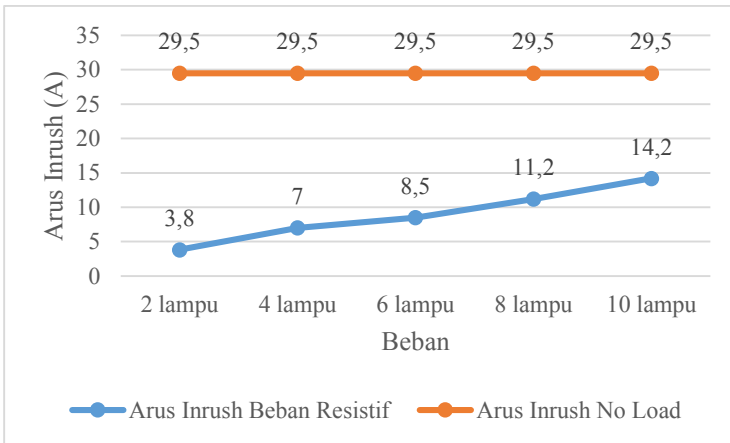
Gambar 4.24 Grafik arus *inrush* terhadap kenaikan beban induktif

Dilihat dari tabel 4.13 untuk beban induktif, seiring dengan bertambahnya beban, arus *inrush* yang timbul juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya nilai arus sekunder seiring dengan pertambahan beban, yang mengakibatkan turunnya nilai dari impedansi sekunder. Mengacu pada data tersebut dapat diambil kesimpulan, pada saat transformator diberi beban induktif, semakin besar impedansi sekunder maka arus *inrush* yang di timbulkan akan semakin kecil.

4.4.4 Perbandingan Arus *Inrush* Tanpa Beban dan Arus *Inrush* dengan Beban Resistif

Jika dilihat dari data percobaan, dapat dianalisa bahwa saat transformator tidak di beri beban akan menghasilkan arus *inrush* yang lebih besar dibandingkan saat transformator di beri beban resistif. Setelah hasil gelombang arus *inrush* di transformasikan ke dalam bentuk *fast fourier transform*, dapat dilihat bahwa harmonisa yang dihasilkan pada beban resistif lebih kecil daripada harmonisa yang dihasilkan oleh transformator tanpa beban. Dengan kata lain, saat transformator tidak diberi beban, hasil gelombang arus akan lebih buruk dibandingkan dengan saat transformator di beri beban resistif. Gambar 4.25 akan menjelaskan tentang perbandingan arus *inrush*

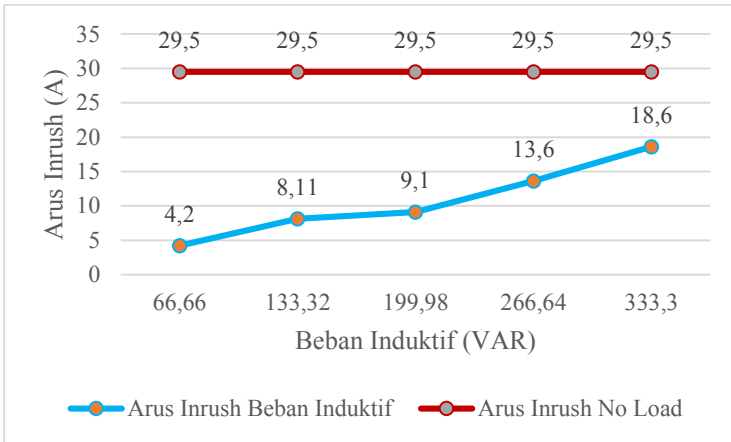
pada transformator tanpa beban dan arus *inrush* dengan transformator diberi beban resistif.



Gambar 4.25 Grafik perbandingan arus *inrush* tanpa beban dan dengan beban resistif

4.4.5 Perbandingan Arus *Inrush* Tanpa Beban dan Arus *Inrush* dengan Beban Induktif

Pada analisa ini akan di jelaskan perbedaan karakteristik arus *inrush* saat trnsformator tidak di beri beban dan saat di beri beban induktif. Mengacu pada data percobaan dapat dilihat bahwa saat transformator tidak di beri beban, arus *inrush* yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan saat transformator di beri beban induktif. Dapat dilihat juga dari gelombang yang sudah di transformasikan ke dalam bentuk *fast fourier transform*, harmonisa yang dihasilkan saat transformator tidak di beri beban lebih besar dibandingkan saat transformator di beri beban induktif. Namun, pada frekuensi fundamentalnya, saat transformator di beri beban induktif akan menghasilkan harmonisa yang lebih besar. Dari bentuk gelombang dapat disimpulkan saat transformator di beri beban induktif akan mengasilkkan gelombang arus yang lebih baik dibandingkan saat transformator tidak diberi beban. Gambar 4.26 akan menjelaskan tentang perbandingan arus *inrush* transformator tanpa beban dan arus *inrush* dengan transformator diberi beban induktif.



Gambar 4.26 Grafik perbandingan arus *inrush* tanpa beban dan dengan beban induktif

4.4.6 Perbandingan Arus *Inrush* dengan Beban Resistif dan Arus *Inrush* dengan Beban Induktif

Pada analisa ini menjelaskan tentang perbedaan karakteristik arus *inrush* yang ada pada saat transformator di beri beban resistif dan pada saat di beri beban induktif. Dapat dilihat dari hasil gelombang saat pengujian saat transformator di beri beban resistif dan di beri beban induktif bahwa, nilai arus *inrush* yang muncul saat transformator di beri beban induktif relatif lebih besar daripada nilai arus *inrush* yang muncul saat transformator di beri beban resistif. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai arus *inrush* pada beban induktif lebih besar dibandingkan nilai arus *inrush* pada beban resistif. Saat dibebani beban resistif nilai arus *inrush* maksimal adalah 14,2 A, dan saat dibebani beban induktif besar arus *inrush* maksimal adalah 18,6 A.

Dapat dilihat juga pada hasil *fast fourier transform* gelombang-gelombang tersebut bahwa harmonisa yang dihasilkan oleh beban induktif juga lebih besar daripada harmonisa yang dihasilkan oleh beban resistif. Dari hasil *fast fourier transform* tersebut juga dapat dilihat bahwa beban induktif mempunyai harmonisa yang lebih tinggi pada frekuensi 0Hz daripada yang

dihasilkan oleh beban resistif. Hal ini terjadi karena beban induktif memiliki komponen *DC* yang lebih besar dibandingkan yang dimiliki oleh beban resistif. Hal ini menyebabkan saat beban induktif di beri tegangan untuk pertama kali, arus *inrush* yang muncul berada pada arus searah atau *DC*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil yang telah didapatkan dengan proses pengujian dan analisis data mengenai arus *inrush* pada transformator satu phasa akibat pembebanan resistif dan induktif dapat di simpulkan :

1. Nilai arus inrush paling besar adalah saat transformator tidak di beri beban.
2. Pada saat transformator di beri beban resistif, arus inrush yang timbul akan bertambah seiring dengan menurunnya impedansi sekundernya.
3. Pada saat transformator diberi beban induktif, seiring dengan penambahan beban arus inrush yang timbul akan semakin besar karena dengan penambahan beban, impedansi sekunder akan mengalami penurunan.
4. Harmonisa yang dihasilkan oleh transformator tanpa beban lebih besar dari pada harmonisa yang dihasilkan oleh transformator saat diberi beban resistif. Dengan kata lain gelombang arus yang dihasilkan oleh transformator saat diberi beban resistif akan lebih baik dibandingkan dengan saat transformator tidak diberi beban. Hal ini dikarenakan saat transformator di beri beban resistif nilai harmonisa yang bukan pada frekuensi fundamentalnya semakin kecil dibandingkan dengan saat transformator tidak diberi beban
5. Harmonisa yang dihasilkan transformator tidak berbeban lebih besar dibandingkan dengan saat transformator di beri beban induktif. Dari bentuk gelombang dapat disimpulkan saat transformator di beri beban induktif, akan menghasilkan gelombang arus yang lebih baik dibandingkan saat transformator tidak diberi beban. Hal ini dikarenakan saat transformator di beri beban induktif nilai harmonisa yang bukan pada frekuensi fundamentalnya semakin kecil dibandingkan dengan saat transformator tidak diberi beban
6. Nilai arus inrush yang dihasilkan saat transformator diberi beban induktif akan lebih besar dibandingkan dengan nilai arus inrush saat transformator di beri beban resistif. Selain itu, harmonisa yang dihasilkan saat transformator di beri beban induktif lebih besar daripada yang dihasilkan saat transformator di beban

resistif. Saat dibebani beban resistif nilai arus *inrush* maksimal adalah 14,2 A, dan saat dibebani beban induktif besar arus *inrush* maksimal adalah 18,6 A.

7. Saat transformator diberi beban induktif harmonisa yang ditimbulkan cukup besar dibandingkan dengan saat transformator diberi beban resistif pada frekuensi (0 Hz). Hal ini disebabkan karena saat transformator diberi beban induktif, arus yang muncul saat pertama kali diberi tegangan berada pada daerah arus DC.

5.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan dari tugas akhir ini :

1. Penelitian dapat dilanjutkan dengan variasi beban seperti beban RL, RC, RLC.
2. Menggunakan alat untuk mengukur fluks sisa, agar dapat mengetahui sudah tidak ada lagi fluks pada transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Puneet Kumar Singh, D K Chaturvedi. “ Modeling and simulation of single-phase transformer inrush current using neural network”, National conference on emerging trends in electrical, instrumentation, and communication engineering, vol.3, no.2, 2013.
- [2] Ning Chen, Chuanyong Wang, Jian Zhang, Fengwen Yang, Zaozhuang Power Supply Company, Yuchen Chen*, Wei Hong. “The inrush current analysis and restraining method of energizing no-load transformer” International conference on system and informatics” the 3rd, 2016.
- [3] Ramón Cano-González, Alfonso Bachiller-Soler, José Antonio Rosendo-Macías ,Gabriel Álvarez-Cordero: “Inrush current mitigation in three-phase transformers with isolated neutral”, Electric Power Systems Research 121 (2015) 14–19
- [4] Mattias Persson , Waqas Baig, Torbjörn Thiringer : ”Measurements and modelling of three- and five-limb transformer behaviour during large voltage and frequency disturbances”, IET Journals 6th October 2015.
- [5] S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde. “Transformer engineering (design, technology, and diagnostics) : second edition. CRC Press, New York, 2013.
- [6] E. B. Kurtz “Transformer current and inrush under load” AIEE 1937.
- [7] I Made Yulistya Negara, Arif Musthofa, Rizqy Alif Sandeputra. “Pengaruh fluks sisa pada transformator 1-fasa terhadap arus *inrush*. Tugas akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2016..
- [8] Markus Putter, Michael Radler, Boris Unterer “Reliable demagnetization of transformer cores” OMICRON GmbH
- [9] I Made Yulistya Negara, Dedet Candra Riawan, Dicky Wahyu, Darmawan “Demagnetisasi arus inrush pada transformator satu fasa 1 kVA menggunakan metode pengurangan sisa medan magnet dengan sumber tenaga berfrekuensi sangat rendah” Tugas akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2016.
- [10] Mochamad Ashari. “Desain sistem konverter AC” : Edisi 1, Cetakan 1. Itspress, 2015.

- [11] I Made Yulistya Negara, Arif Musthofa, Yudha Rohman Setiadi. Analisis karakteristik arus inrush pada trafo 3 fasa akibat pengarus residual fluks” Tugas akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2016.

RIWAYAT HIDUP



Muhamad, lahir di Kota Jakarta, 30 November 1995. Riwayat pendidikan penulis dimulai di TKI An-Nizomiyah Jakarta, lulus pada tahun 2001. Dilanjutkan di SDI An-Nizomiyah Jakarta, lulus pada tahun 2007. Kemudian lulus dari SMPN 107 pada tahun 2010 dan lulus dari SMAN 55 Jakarta pada tahun 2013. Pendidikan penulis lanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Elektro, Departemen Teknik Elektro pada tahun 2013. Dalam program sarjana-nya tersebut, penulis mengambil konsentrasi di Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Selama kuliah penulis pernah menjadi staff departemen pengabdian masyarakat di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS pada periode 2014-2015. Dan sekarang penulis sedang diamanahi menjadi kepala pekerja umum asisten Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS periode semester genap 2016-2017. Penulis dapat dihubungi melalui email muhamadalay99@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan