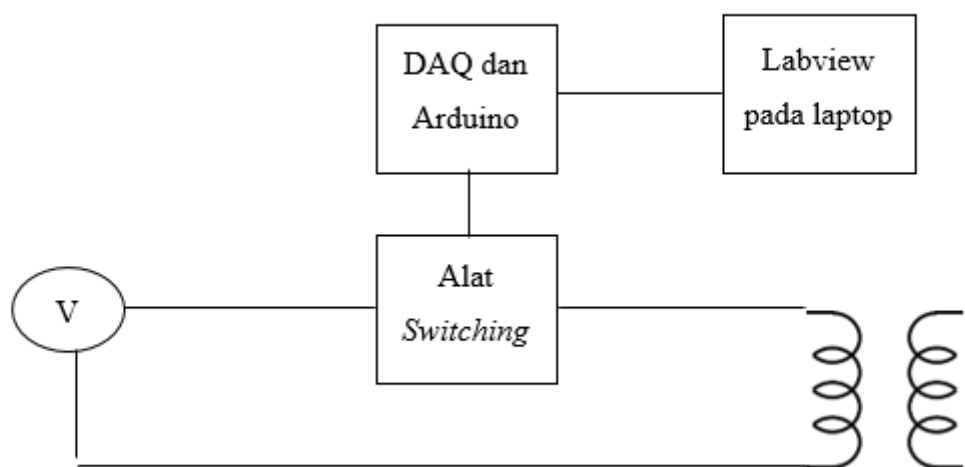


BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan harmonik dari arus *inrush* didapat dari pengukuran arus dengan sudut switching tertentu, dimulai dari 0° hingga 360° . Data hasil pengukuran akan diolah menggunakan FFT di program Matlab.

4.1 Tahap Pengujian Arus *Inrush*



Gambar 4.1 Skema Pengujian Arus Inrush

Pengujian dilakukan saat alat *switching* diletakkan antara sumber tegangan dengan sisi primer transformator dan pada sisi sekunder tidak diberi beban. Alat *switching* akan memberi *delay* pada DAQ untuk menentukan sudut fasa. DAQ akan membaca arus dan tegangan yang telah diproses oleh alat *switching*. Data setiap variasi sudut *switching* akan disimpan dalam bentuk file *excel*. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan regresi linear untuk mendapatkan nilai yang sebenarnya. Nilai yang telah didapatkan kemudian dimasukkan kedalam bentuk grafik.

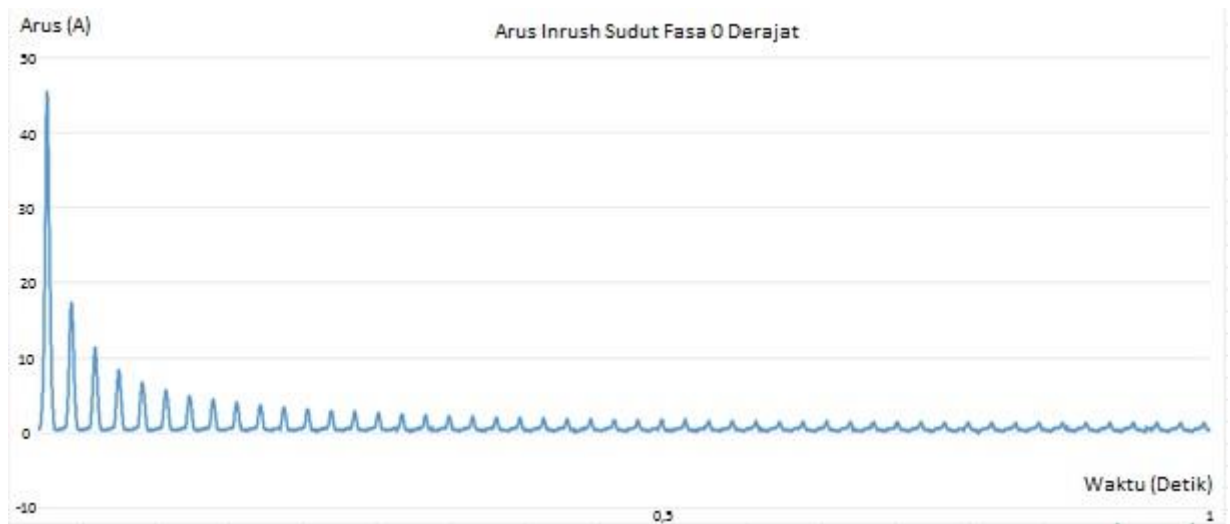
Alat *switching* akan melakukan konversi sudut fasa dengan menggunakan persamaan 3.1.

4.2 Hasil Pengukuran Arus *Inrush*

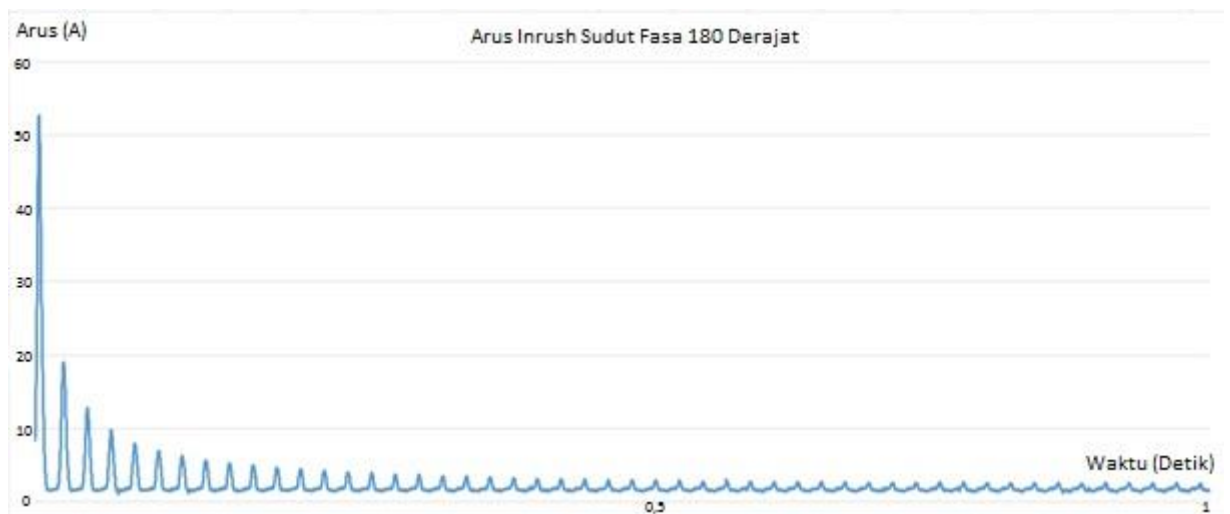
Pengujian arus *inrush* dilakukan dengan variasi pengambilan data di sudut *axis* 0° , 90° , 180° , 270° dan di sudut *non-axis* 30° dan 60° . Pengukuran arus *inrush* dilakukan pada transformator tanpa beban selama 1 detik dengan jumlah data sebanyak 10.000 sampel

data. Data tersebut kemudian disaring lagi menggunakan *eye test* sehingga data yang akan diolah dengan regresi linear dipotong hingga 440 ms. Data sampling dari pengukuran arus *inrush* akan secara otomatis tersimpan pada excel dan data tersebut akan dimasukkan kedalam grafik.

Regresi Linear digunakan untuk mengolah data yang awalnya berbasis 5 V (berdasarkan tegangan maksimum Arduino) menjadi data *real-time*.



Gambar 4.2 Hasil pengukuran arus inrush sudut fasa 0°



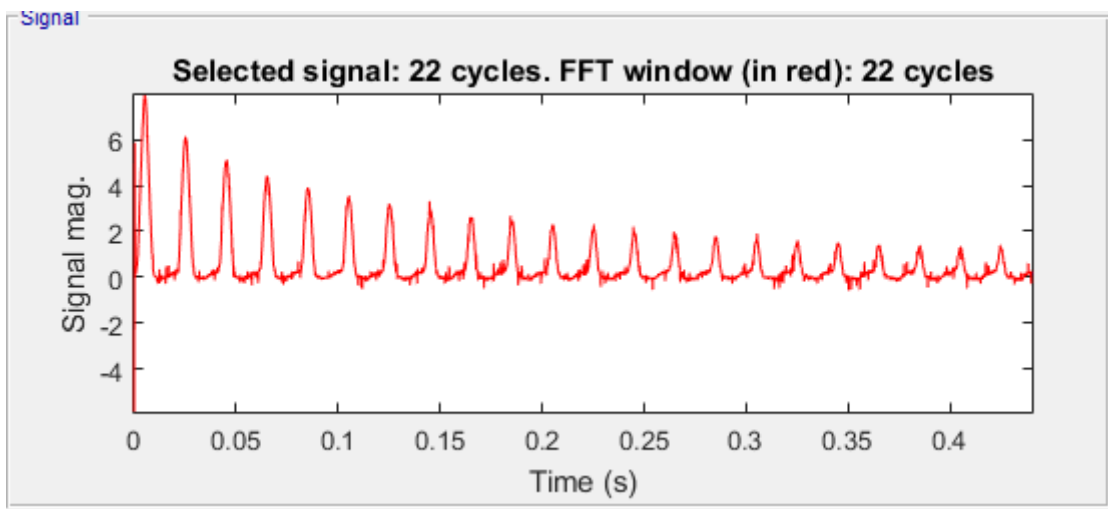
Gambar 4.3 Hasil pengukuran arus inrush sudut fasa 180°

4.3 Fast-Fourier Transform hasil pengukuran arus inrush

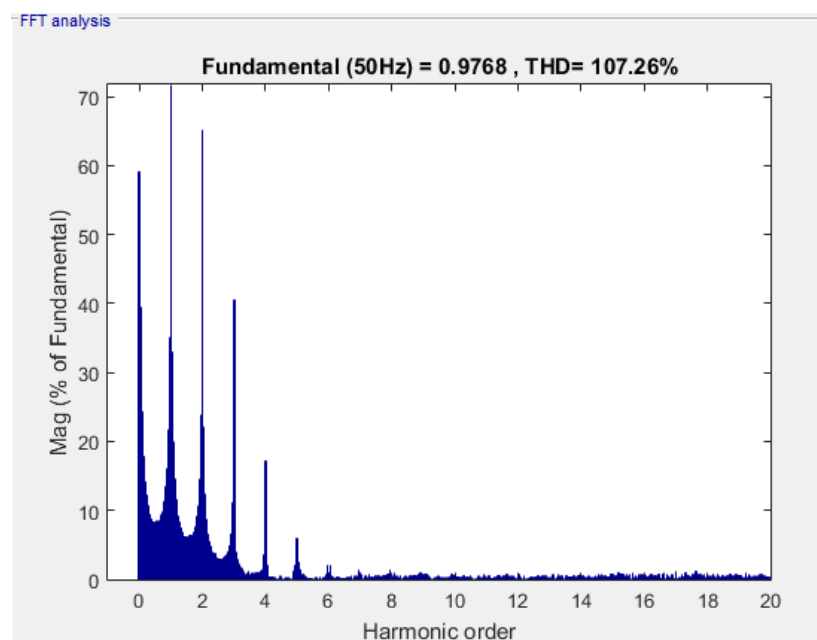
Dengan menggunakan Simulink oleh Matlab, kita mengaplikasikan FFT terhadap data hasil pengukuran inrush. Data hasil pengukuran berada dalam file dalam bentuk .xcl. Bentuk file ini akan memudahkan kita untuk memasukkan data dalam variabel matlab. Variabel ini akan diplot oleh *block signal builder* yang akan mem-plot data dan menampilkannya di *scope* dan

menyimpannya sebagai variabel *dataset*. Powergui ini akan mengimplementasikan FFT terhadap data secara *continuous* dan menggunakan metode numerik bogacki-shampine.

Data yang akan diolah oleh model Simulink ini adalah data arus inrush dengan sudut 0° , 90° , 180° , dan 270° . Data yang diambil dalam rentang waktu 0,44 detik atau sebanyak 22 siklus yang diambil berdasarkan *eye-test* saat melihat gelombang *inrush* sebelum di olah di matlab. Data tersebut juga akan dibagi per 1 *cycle* sebanyak 10 *cycle* agar kita dapat memahami magnitudo harmonik tersebut terhadap amplituda gelombang fundamental dari arus inrush yang diselidiki.



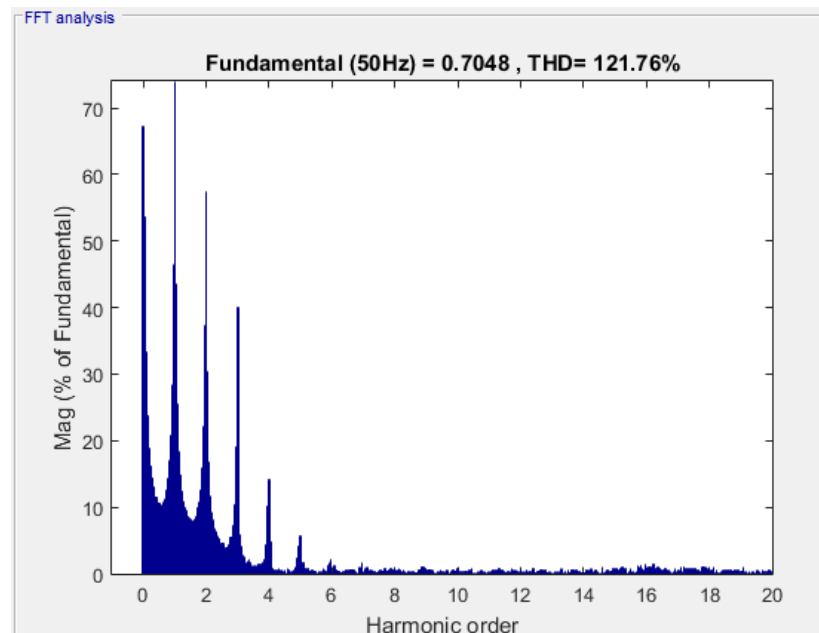
Gambar 4.4 FFT Window dengan sudut fasa 0°



Gambar 4.5 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 0°

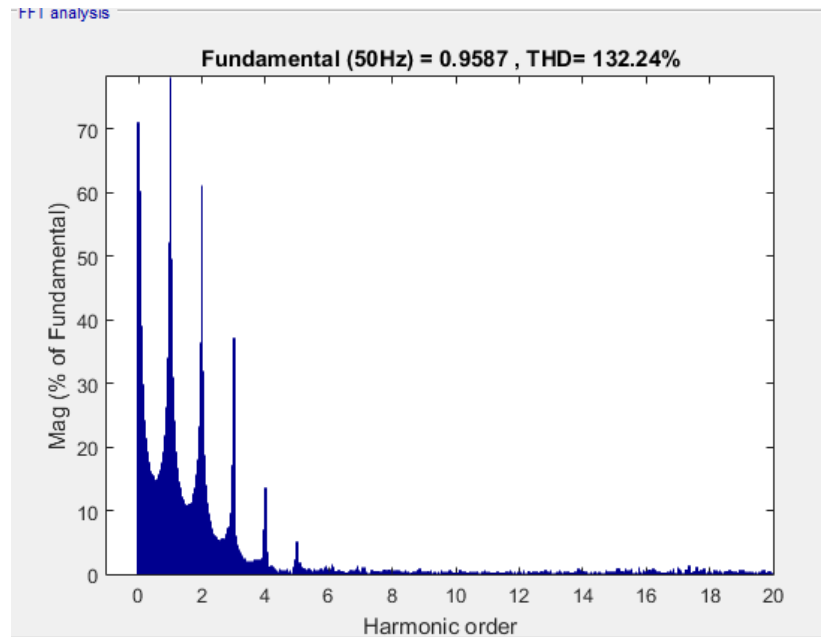
Gambar 4.6 diatas merupakan grafik magnituda harmonik terhadap gelombang fundamental. Harmonik yang ditunjukkan adalah komponen DC hingga harmonik ke-20. Selain itu grafik tersebut juga menunjukkan sub-harmonik yang merupakan $1/n$ dari gelombang fundamental.

Besaran dari harmonik yang ditunjukkan di gambar 4.6 berdasarkan rata - rata dari *peak* gelombang fundamental yang sebesar 0,9768 A. Dengan THD sebesar 107.26 %, dapat disimpulkan bahwa *peak* rata-rata dari harmonik adalah sebesar 1,04476 A. Dengan menggunakan sudut *switch-on* 0° , kandung harmonik dalam arus *inrush* kaya akan harmonik kedua, ketiga, keempat, dan kelima. Semua komponen harmonik tersebut memiliki magnitudo diatas 5 %. Komponen DC arus inrush cukup besar, melihat banyaknya fluktuasi yang terjadi pada arus *inrush*. Hal ini dimungkinkan oleh banyaknya komponen yang tidak termasuk pada harmonik dengan frekuensi tertentu.



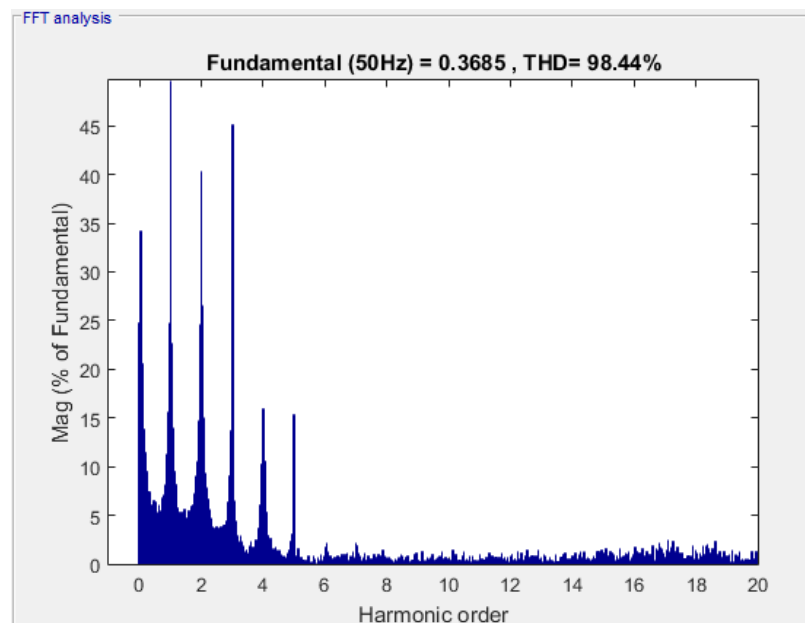
Gambar 4.6 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 30°

Meskipun tidak terjadi banyak perubahan di harmonik dominan (harmonik pertama hingga kelima), total distorsi harmonik bertambah hingga ± 14 %.



Gambar 4.7 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 60°

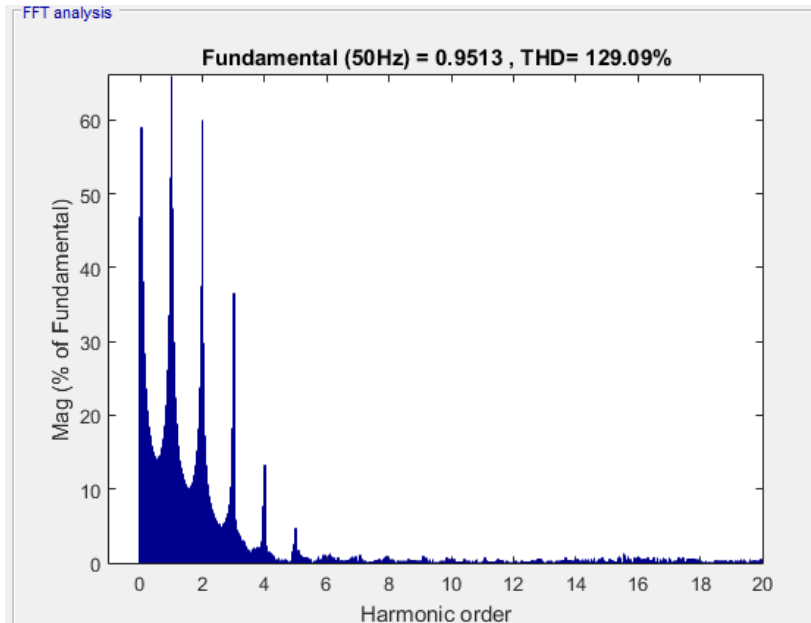
Total distorsi harmonik yang ada pada 60° lebih besar dari sudut 0° dan 30° . Meskipun harmonik dominan tidak terjadi banyak perubahan, namun THD dari gelombang tersebut bertambah hingga 10% dari gelombang dengan sudut fase 30°



Gambar 4.8 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 90°

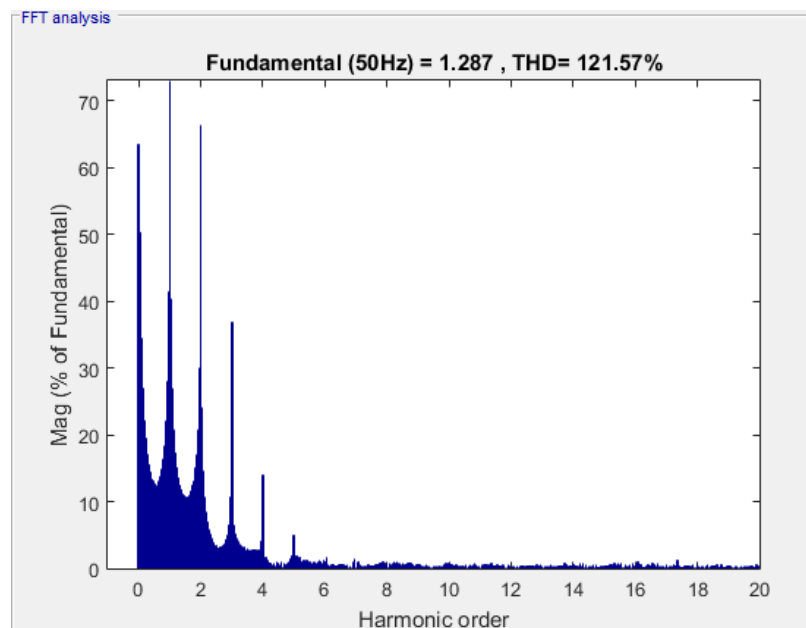
Gelombang dengan sudut 90° merupakan gelombang dengan THD terkecil. Terlihat bahwa kandungan harmonik kedua dari gelombang ini di sekitaran 40 %, berbeda dengan sudut fasa lainnya yang berada pada kisaran 60 %. Namun pada sudut ini konten harmonik kelima arus

inrush tersebut mencapai hingga 15 %, yang merupakan magnitude terbesar dibanding dengan sudut fasa lain.



Gambar 4.9 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 180°

Pada sudut *axis* dengan naiknya besar sudut fasa maka konten hamonik akan bertambah. Terlihat di gelombang dengan sudut fasa 180° di gambar 4.10 bahwa konten harmonik di sudut ini lebih besar dari sudut 0° dan 90°.



Gambar 4.10 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 270°

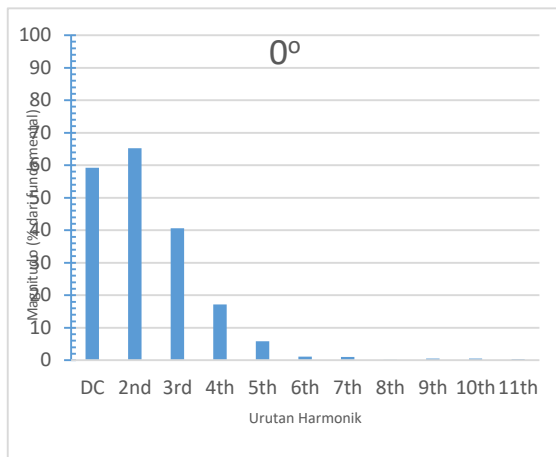
Dengan naiknya sudut *switch-on*, THD terlihat bertambah. Meskipun harmonik terbesarnya (harmonik kedua hingga kelima) terlihat tidak terjadi banyak perubahan, Terdapat perubahan yang cukup besar pada THD arus *inrush* tersebut, yaitu sebesar 7 %.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Magnitudo Harmonik Arus Inrush Dengan Kondisi Tanpa Beban dan Berbagai Macam Sudut Switch On

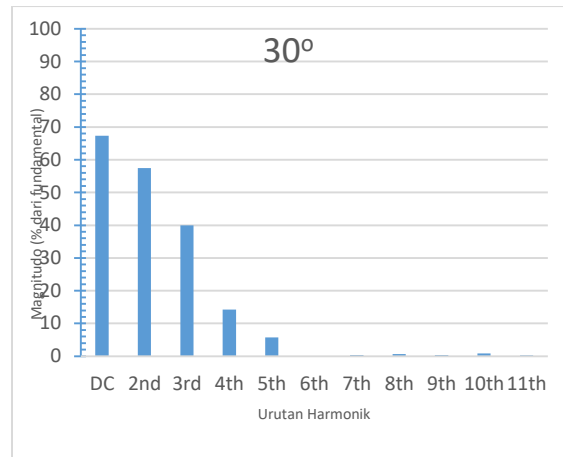
Sudut	Magnitudo Harmonik Arus Inrush (%)												Fund (I)
	DC	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	THD	
0°	59.21	65.25	40.59	17.17	5.86	1.08	1.04	0.07	0.57	0.48	0.29	107.2	0.977
30°	67.29	57.46	39.96	14.25	5.70	0.01	0.33	0.63	0.33	0.84	0.28	121.6	0.705
60°	71.09	61.08	37.13	13.44	5.16	0.46	0.40	0.08	0.30	0.23	0.34	132.4	0.958
90°	24.70	40.35	45.15	15.88	15.3	1.79	2.18	0.61	0.37	0.46	0.99	98.44	0.368
180°	46.91	60.04	36.60	13.20	4.63	0.35	0.30	0.49	0.12	0.43	0.29	129.1	0.951
270°	63.40	66.44	36.92	14.07	4.98	1.10	0.15	0.76	0.48	0.80	0.12	121.5	1.287

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sudut Fase Harmonik Arus Inrush Dengan Kondisi Tanpa Beban dan Berbagai Macam Sudut Switch On

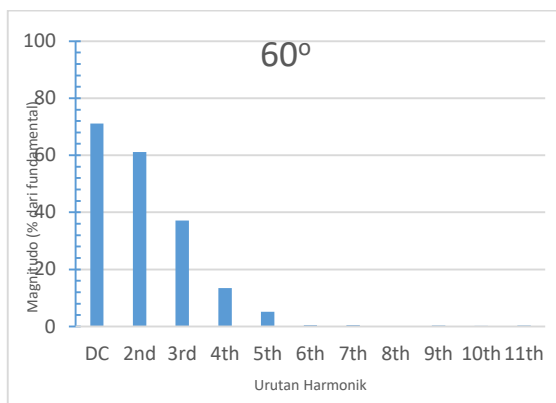
Sudut	Sudut Fase Harmonik Arus Inrush (°)										
	Fund	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th
0°	2.9	261.4	169.9	77.1	-7.7	-36.6	-59.1	65.2	-18.8	-51.4	247.2
30°	36.1	143.4	260.0	14.6	116.8	58.4	-53.4	261.4	-84.7	61.1	74.7
60°	57.4	190.6	-27.0	112.1	254.9	85.7	158.6	14.5	14.1	199.61	30.0
90°	103.2	253.6	74.7	237.7	58.8	206.0	43.6	33.4	243.1	114.9	261.3
180°	177.1	70.2	-29.6	229.5	118.9	70.1	249.8	-22.9.0	248.9	169.1	-83.5
270°	268.4	78.7	251.4	73.6.4	239.5	1142.0	167.0	156.6	149.0	199.9	186.4



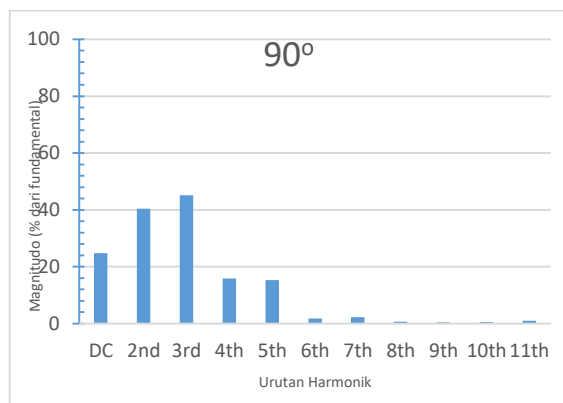
Gambar 4.11 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 0°



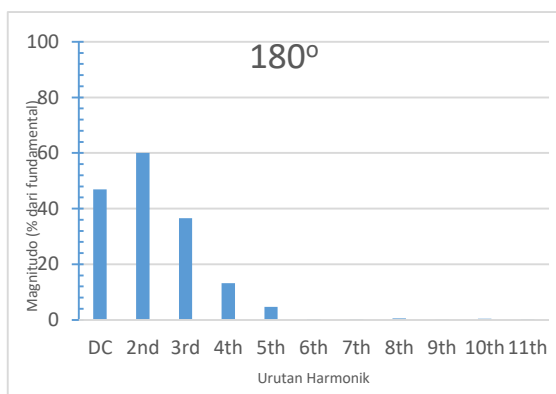
Gambar 4.12 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 30°



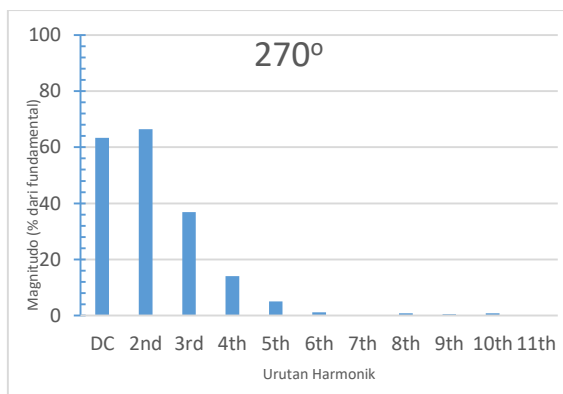
Gambar 4.13 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 60°



Gambar 4.14 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 90°



Gambar 4.15 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 180°



Gambar 4.16 Harmonik arus inrush dengan sudut *switching* 270°

Tabel 4.1 menunjukkan konten harmonik yang terkandung dalam arus inrush. Ditemukan bahwa konten harmonik kaya oleh komponen DC, harmonik kedua, ketiga, keempat, dan kelima. Komponen hamonik lainnya berada dibawah 5 %. Dengan berbagai sudut *switch-on*

(0°, 90°, 180°, dan 270°), konten harmonik ditemukan ikut meningkat ketika sudut *switch-on* ~ meningkat, kecuali untuk untuk sudut switch on 90°. Sudut 90° derajat memiliki THD yang paling kecil. Pada umumnya harmonik kedua memiliki magnitudo sebesar ±60% kecuali pada sudut *switch-on* 90°. Pada sudut ini konten harmonik kedua adalah 40%. Harmonik ketiga setiap sudut memiliki magnitudo sebesar 35 % hingga 45%. Konten Harmonik ketiga dengan magnitudo sebesar 13%-17%. Harmonik kelima rata-rata memiliki magnitudo sebesar 5 %, kecuali disudut 90° dengan magnitudo sebesar 15 %.

THD_i diatas 100% merupakan hal yang dapat terjadi, menunjukkan gelombang dari gabungan seluruh konten harmonik memiliki nilai rms yang lebih besar dari gelombang fundamental[16]. Nilai diatas 100 % ini sebebkan oleh dua hal, pertama oleh cara perhitungan yang digunakan. Perhitungan THD yang digunakan adalah THD_f, dimana perhitungan harmonik dibandingkan dengan nilai rms arus fundamental. Perhitungan lainnya menggunakan THD_r, dimana perbandingan dilakukan dengan nilai rms dari gelombang arus secara keseluruhan. Alasan kedua adalah dengan arus inrush yang mengecil secara cepat, menyebabkan perbandingan nilai rms dari harmonik yang besar, contohnya harmonik kedua dari siklus pertama, dengan nilai rms seluruh gelombang menjadi tidak sebanding.

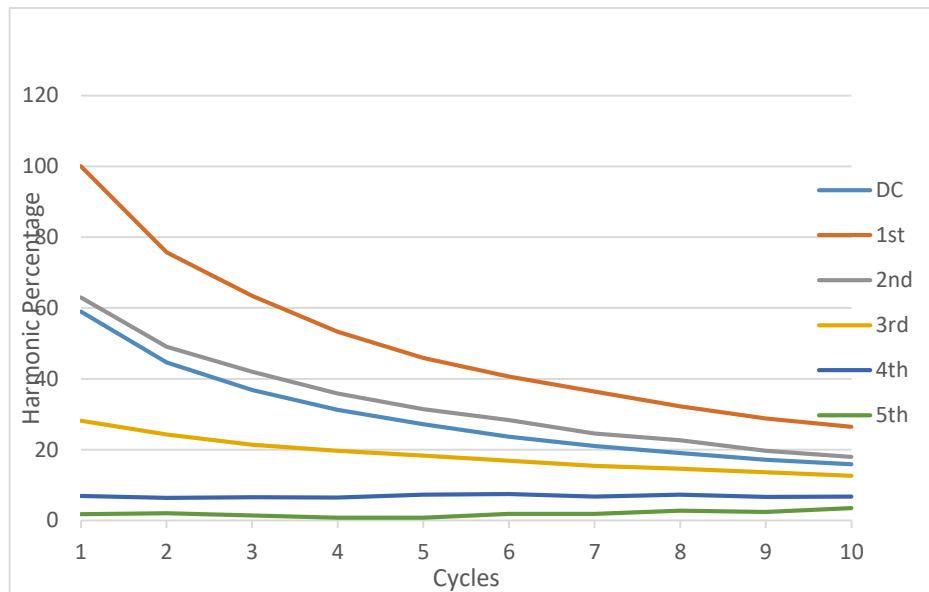
Harmonik kedua, dengan arus diferensial, dapat digunakan untuk membatasi arus pada kondisi *inrush*[17]. Dilihat dari tabel 4.1, harmonik kedua dengan sudut fasa 90° merupakan harmonik kedua dengan magnitudo terkecil. Dengan menggunakan sudut *switch-on* ini, kita bisa melakukan mitigasi arus inrush.

Perubahan sudut fasa juga terjadi di seluruh komponen harmonik dari arus *inrush*. Saat harmonik diinvestigasi persiklus, Sudut fasa pada saat *switch-on*, sesuai dengan sudut fasa yang ditampilkan oleh matlab. Perubahan sudut fasa terjadi secara acak meskipun besaran dari harmonik itu sendiri akan mempengaruhi sudut fasa seperti yang akan ditunjukkan di sub bab dibawah ini. Pergesaran sudut fasa ini terjadi disebabkan oleh gelombang harmonik dengan sudut fasa yang berbeda.

4.4 Investigasi Komponen Harmonik Tiap Cycle

Magnitudo dari komponen gelombang harmonik bergantung pada *peak* dari gelombang fundamental nya Dengan *peak* gelombang *inrush* yang berubah tiap siklusnya, maka investigasi komponen harmonik tiap siklus diperlukan. Harmonik dihitung hingga ke siklus ke-10, melihat arus inrush sudah sangat berkurang setelah siklus ke-10 ini. Konten harmonik kedua dalam arus

diferensial juga digunakan dalam elemen diferensial transformator untuk memblokir dan pengendalian selama kondisi *inrush*.



Gambar 4.17 Grafik Perubahan magnitudo harmonik sampai harmonik kelima tiap cycle di sudut switch-on 0°.

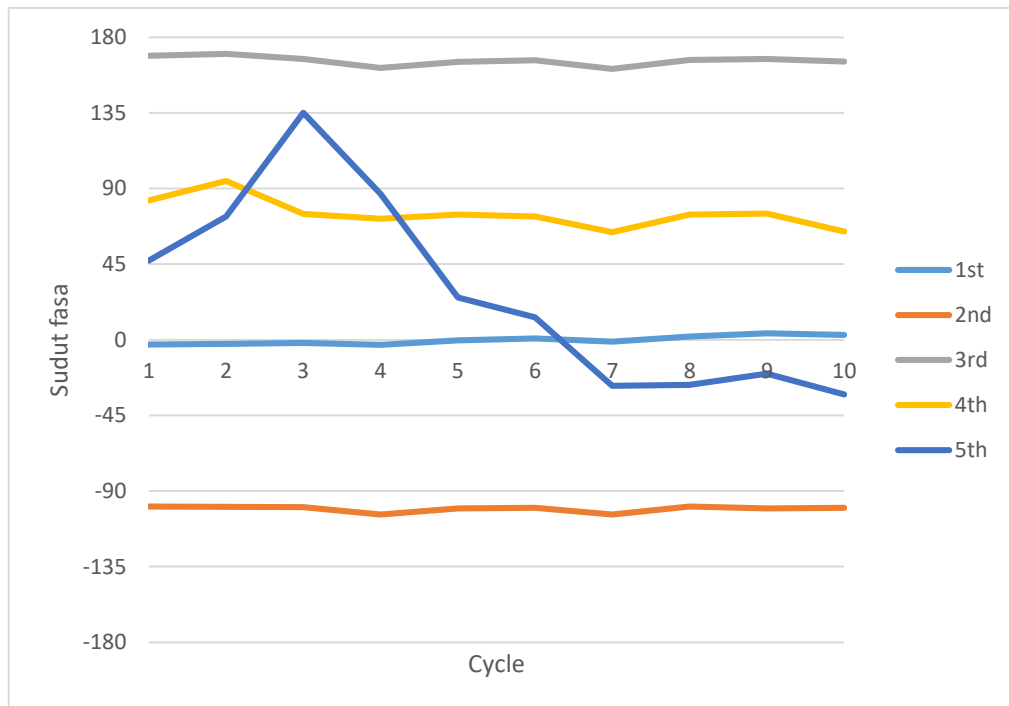
Gambar 4.18 merupakan grafik yang menunjukkan persentase konten harmonik hingga siklus kesepuluh. Dapat terlihat bahwa terjadi *decay* dari konten harmonik tersebut menuju *steady-state*, hingga berada dibawah kisaran 20 %. Pada dasarnya, gambar ini menunjukkan konten harmonik jika dibandingkan dengan lonjakan arus *inrush* di siklus pertama.

Tabel 4.3 Nilai THD hingga siklus ke sepuluh

Siklus	THD
1	75.05%
2	74.17%
3	75.72%
4	78.02%
5	81.32%
6	84.08%
7	82.94%
8	88.57%
9	88.48%
10	89.90%

Terlihat dari tabel 4.3 bahwa persentase THD akan meningkat seiring dengan menurunnya *peak* dari arus *inrush* tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa transformator tersebut memiliki nilai harmonik tetap yang dihasilkan oleh dua kemungkinan, sumber arus listrik trafo tersebut dan akurasi dari alat ukur tersebut. Harmonik itu sendiri sebenarnya dapat mengganggu kinerja suatu

mikrokontroler. Dengan gangguan yang ada, ditambah dengan perhitungan regresi linear yang membuat nilai berlipat, menyebabkan *error* yang cukup signifikan pada hasil pengukuran.



Gambar 4.18 Grafik Perubahan sudut fasa sampai harmonik kelima tiap cycle di sudut switch-on 0°

Sudut fasa untuk gelombang fundamental dan harmonik kedua hingga keempat pada umumnya terus naik seiring dengan perubahan siklus. Namun pada komponen harmonik ke-5 terjadi perubahan sudut fasa yang besar dikarenakan komponen harmonik kelima ini memiliki frekuensi yang sangat besar, sehingga saat terjadi perubahan siklus setelah 0,02 sekon (50 Hz) margin perubahan fasa menjadi berganda.