

Studi Pengurangan Arus *Inrush* Transformator Dengan Metode *Sequential Phase Energization* Tanpa Beban Menggunakan Software ATP-EMTP

Unggul Aribowo¹, Wahyudi Budi Pramono²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹12524024@students.uii.ac.id

²985240104@uui.ac.id

Abstrak— Transformator berkerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika transformator *deenergize* tegangan listrik dan ketika dimatikan maka akan menghasilkan fluks sisa pada inti transformator atau yang biasa disebut *residual fluks*.. Besar kecilnya arus *inrush* bergantung pada fluks *residual* dalam transformator. Arus *inrush* ini bernilai bisa berkali-kali lipat dari arus nominal transformator sehingga arus *inrush* pada transformator harus sebisa mungkin dikurangi. Banyak cara dalam pengurangan arus *inrush* salah satunya dengan menggunakan pengontrolan *switch* pada saat *energize*. Apabila arus ini berlangsung terus menerus akan berdampak pada usia transformator serta mengganggu kerja rele proteksi. Maka itu perlu adanya upaya pengurangan arus *inrush*. Ada beberapa cara dalam pengurangan arus *inrush* salah satunya menggunakan metode *sequential phase energization (SPE)*. Metode ini dinilai sangat simpel dan efektif dalam pengurangan arus *inrush*, secara garis besarnya metode *SPE* ini bekerja dengan cara memperhatikan *delay* waktu antar *switch* setiap fasanya agar mendapatkan hasil yang optimal. Maka dari itu Tugas akhir ini akan berfokus pada pengurangan arus *inrush*. Pada tahap pertama mensimulasikan pengurangan arus *inrush* menggunakan metode *SPE* dan membandingkan hasil sebelum menggunakan metode *SPE* dan sesudah menggunakan metode *SPE*. Dalam simulasi ini menggunakan metode *SPE* berhasil mengurangi lonjakan arus *inrush* pada fasa 1 sebesar 33,25 %, fasa 2 sebesar 61,58 % dan fasa 3 sebesar 58,28 %. Dari hasil simulasi ini pengurangan arus *inrush* menggunakan metode *SPE* layak diaplikasikan.

Kata kunci— transformator, Arus *inrush*, *sequential phase energization (SPE)*.

I. PENDAHULUAN

Arus *inrush* timbul saat transformator mau dioperasikan. Arus *inrush* mempunyai lonjakan yang tinggi dan tiba-tiba. Sehingga apabila tidak ada tindakan untuk menguranginya akan berdampak serius pada transformator dan sistem tenaga listrik. Maka dari itu pengurangan arus *inrush* ini sangat diperlukan agar transformator dan sistem tenaga listrik berumur panjang. Ada banyak cara dalam pengurangan arus

inrush ini tetapi beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi arus *inrush* tidak benar-benar menghilangkan tetapi hanya mengurangi arus ketingkat yang lebih aman untuk peralatan. Yang dimana diantaranya menggunakan metode *sequential phase energization (SPE)*.

Transformator merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik dan kinerjanya menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika transformator dialiri arus bolak-balik (*AC*) maka akan menimbulkan arus yang berubah-ubah sehingga fluks magnetik akan mengalir melalui inti besi dan melewati kumparan sekunder. Akibat dari induksi magnetik yang berubah-ubah maka akan menimbulkan fluks magnetik yang berubah-ubah juga. Dari fluks magnetik yang berubah-ubah ini akan menimbulkan gaya gerak listrik (*ggf*) induksi. Jika arus yang dialirkan melalui kumparan primer besar maka medan magnet yang dihasilkan juga akan semakin besar yang dialirkan ke kumparan sekunder. Pada kumparan sekunder terjadi perubahan gaya gerak listrik yang akan berpengaruh pada nilai tegangan dan arus yang tergantung pada jumlah lilitan antara kumparan primer dan sekunder.

Arus *inrush* akan diperlihatkan ketika transformator *dienergization* dengan keadaan berbeban ataupun dalam keadaan tidak ada beban sama sekali sehingga akan mengakibatkan terjadinya lonjakan arus yang sangat besar antara 8 – 12 kali nilai arus nominal tergantung pada fluks sisa transformator dan impedansi pada rangkian[3]. Karena itu arus ini dikurangi seminimal mungkin agar tidak menimbulkan dampak yang *negative* bagi transformator. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *sequensial phase energization* secara sederhananya metode ini memberi *delay* pada masing-masing fasa (1, 2, 3) transformator karena arus *inrush* setiap fasanya berbeda. Untuk mengetahui arus *inrush* setiap fasa dilakukan simulasi menggunakan software ATP-EMTP. Pada penelitian ini untuk memodelkan transformator digunakan data-data transformator dari PT. Powel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar arus *inrush* yang berhasil dikurangi menggunakan metode *Sequential Phase Energization (SPE)*.

12/2 2019
Me. *ucugna*

I. TINJAUAN PUSTAKA

A. Transformator

Transformator merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik. *Transformator* bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dimana ketika *transformator* dialiri arus listrik sehingga menimbulkan fluks magnet, fluks magnet yang berubah-ubah akan menimbulkan ggl induksi/ beda potensial.

Berdasarkan model inti, *transformator* dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. *Transformator core type*.

Pada model inti core berbentuk persegi dan lilitan kumparan transformator berada pada posisi kanan dan kiri. Dan umumnya model inti seperti ini digunakan untuk tegangan tinggi.

2. *Transformator shell type*.

Pada model inti *shell* juga berbentuk persegi akan tetapi lilitan kumparan berada pada tengah – tengah inti dan juga dikelilingi inti. Umumnya model inti ini digunakan pada tegangan rendah.

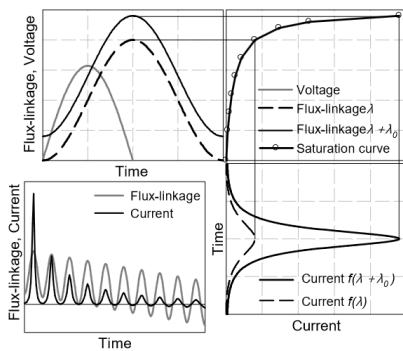
B. Arus Inrush

Arus *inrush* terjadi ketika *transformator dienergized* pada sumber arus bolak balik, maka menghasilkan arus transien dalam beberapa detik sebelum mencapai keadaan stabil. Arus *inrush* akan mengalir pada rentang waktu yang pendek hingga keadaan stabil.. Besarnya arus *inrush* bisa mencapai 8-12 kali dari arus nominal *transformator*.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai besar dan kecilnya arus *inrush* yaitu:

- Sudut *switching* tegangan
- Fluks sisa pada inti *transformator*
- Karakteristik inti transformator

Proses terjadinya arus *inrush* dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Proses terjadinya arus *inrush*

Berdasarkan Gambar 2.3 diatas dapat dijelaskan bahwa arus *inrush* terjadi pada saat *transformator* diberi tegangan, *transformator* akan bekerja sebagai hambatan sehingga akan menyebabkan fluks tertinggal 90° dari tegangan. Nilai maksimal gelombang fluks terjadi apabila gelombang fluks telah mencapai $\frac{1}{4}$ lonjakan dari gelombang tegangan. Selama *transformator* beroperasi, nilai fluks akan naik dua kali lipat dari nilai maksimum fluks saat kondisi normal. Ketika fluks

dalam kondisi maksimal akan menyebabkan inti *transformator* dalam kondisi saturasi sehingga akan menghasilkan arus *inrush* yang sangat besar.

Arus *inrush* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1

$$I_{inrush} = \frac{\sqrt{2} \cdot \bar{V}}{\sqrt{(\omega \cdot L)^2 + R^2}} \left(\frac{2 \cdot B_N + B_R + B_S}{B_N} \right) \quad (1)$$

Dimana:

V = tegangan.

L = induktansi gulungan *transformator*.

R = resistansi.

B_R = kerapatan fluks sisa dari inti *transformator*.

B_S = kerapatan fluks saturasi (jenuh) dari inti.

B_N = nilai arus nominal.

C. Hukum Faraday

Hukum faraday merupakan hukum yang mempelajari tentang proses terjadinya medan magnet yang disebabkan oleh arus listrik. Hukum faraday biasa disebut dengan hukum induksi elektromagnetik. Induksi elektromagnetik merupakan suatu peristiwa yang menyebabkan terjadinya gaya gerak listrik didalam lilitan apabila terjadi perubahan fluks didalam sebuah inti transformator. Sedangkan fluks dapat diartikan sebagai jumlah garis gaya yang melintasi sebuah bidang yang tegak lurus terhadap garis gaya *magnetic*. Setiap perubahan pada fluks yang terhubung pada lilitan akan menyebabkan terjadinya gaya gerak elektromagnetik yang diinduksi didalam lilitan. Perubahan pada fluks ini akan menyebabkan terjadinya gaya gerak listrik yang diinduksi secara statis.

Untuk mengetahui gaya gerak listrik dapat diketahui dengan menggunakan hukum faraday pada Persamaan 2 :

$$e = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

Dimana:

e = Gaya gerak listrik

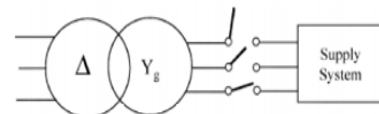
N = Jumlah lilitan

$d\phi$ = Perubahan fluks

dt = Selang waktu.

D. Metode *Sequential Phase Energization (SPE)*

Usaha dalam mengurangi lonjakan arus *inrush* yang besar salah satunya dengan menggunakan metode *Sequential Phase Energization*. Karena faktanya menunjukkan bahwa pada setiap fasanya, nilai arus *inrush* tidak selalu sama sehingga diterapkan energisasi berselang setiap fasanya. Metode ini sangat sederhana dan bisa mengurangi arus *inrush* yang terjadi saat energized sebesar 80-90%. Secara garis besarnya metode ini bekerja dengan cara memberikan delay pada setiap fasa (A, B, C). Hal ini berdasarkan faktanya arus *inrush* pada setiap fasa *transformator* tidak seimbang. Gambar 2 adalah skema metode *Sequential Phase Energization (SPE)* :

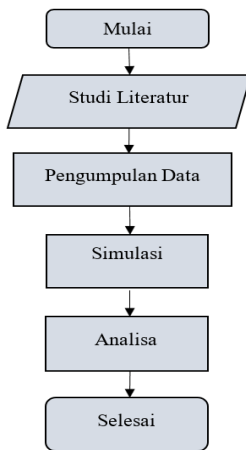


Gambar 2 Skema Metode *Sequential Phase Energization (SPE)*

Karena arus ini sangat besar sehingga dapat menyebabkan hubung singkat. Banyak penelitian yang sudah dilakukan guna mengurangi lonjakan arus ini. Dalam metode *SPE* ini terdapat parameter penting agar pengurangan arus *inrush* bisa berjalan yaitu delay waktu tiap fasanya. Dengan kata lain *switch* fasa 3 dalam keadaan *close* apabila fasa 1 dan fasa 2 telah mencapai keadaan *steady state*. Begitu juga dengan *switch* fasa 2 akan dalam kondisi *close* apabila fasa 1 sudah mencapai kondisi *steady state*. Pemilihan waktu penutupan *switch* setiap fasanya berdasarkan arus terkecil yang diambil saat simulasi dengan sudut yang telah ditentukan. Pada metode ini fasa 1 lah yang digunakan untuk acuan pegeseran sudut untuk tiap fasanya. Karena pengaturan waktu penutupan *switch* setiap fasanya sangat berpengaruh dalam pengurangan arus *inrush*.

II. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3



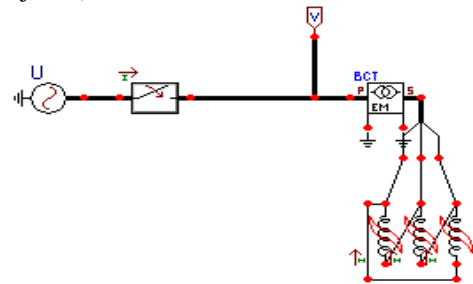
Gambar 3 Diagram alur penelitian

Tahap pertama yaitu mencari studi literatur yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir ini. Studi literature yang dilakukan adalah dengan membaca penelitian-penelitian yang sudah ada dari buku dan jurnal yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian. Tahap kedua yaitu mengumpulkan data. Data yang dikumpulkan yaitu data *transformator* 3 fasa yang terdiri dari data spesifikasi *transformator* dan perubahan fluks terhadap arus. Data inilah yang akan diinput pada komponen simulasi pada *ATP-EMTP*. Setelah data dikumpulkan, selanjutnya masuk ke tahap ketiga yaitu melakukan simulasi pada *software ATP-EMTP*. Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi yang berupa pembuatan *single diagram*. Dalam pembuatan simulasi terbagi menjadi 2 jenis yaitu simulasi sistem tanpa metode *SPE* dan simulasi sistem dengan menggunakan metode *SPE*. Pada simulasi tanpa menggunakan metode *SPE* waktu *close* setiap fasanya akan sama. Hal ini guna melihat lonjakan arus *inrush* yang terjadi. Hasil simulasi tanpa metode *SPE* akan tampil dalam bentuk grafik. Simulasi menggunakan metode *SPE* waktu *close* setiap fasa pada *switch* berbeda dengan tanpa menggunakan metode *SPE*. Hal ini dikarenakan metode *SPE* saat *switch close* ada selang waktu setiap fasanya. Dalam pemilihan waktu *close* metode *SPE* dengan cara mencari arus terkecil pada fasa 1 mulai dari

sudut 0- 360° Sudut inilah yang akan menjadi acuan pergeseran setiap fasanya. Sudut ini akan dikonversikan ke detik. Sehingga akan terjadi selang waktu setiap fasanya. Setelah tahap simulasi diselesaikan, kemudian masuk ketahap ke empat yaitu Analisa hasil. Analisa dilakukan dengan dua tahap, pertama ialah dengan mengamati hasil simulasi yang diperlihatkan pada *software ATP-EMTP* tanpa metode *SPE*, selanjutnya ialah dengan mengamati hasil simulasi yang menggunakan metode *SPE*. Kedua hasil simulasi tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Guna memudahkan dalam pembacaan, hasil akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Setelah didapatkan hasil dari dua simulasi yang dilakukan maka dapat dilanjutkan dengan membandingkan hasil menggunakan metode *non SPE* dan menggunakan metode *SPE* dan selanjutnya membuat kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilaksanakan.

A. Simulasi Sistem

Gambar 4 adalah pemodelan *single line diagram* menggunakan *software ATP-EMTP* dengan *suplay* tegangan 170 kV dengan daya 60 MVA. Pada *starting* simulasi ini tanpa menggunakan beban dan *transformator* pada kondisi saturasi (jenuh).



Gambar 4 Pemodelan Simulasi

B. Pemilihan Waktu Close Switch

Pemilihan waktu *close switch* 3 fasa berdasarkan arus terkecil yang didapatkan dari hasil simulasi yang dimulai dari sudut 0° sampai 360°. Sudut tersebut akan digunakan untuk *delay* setiap fasanya pada *switch* 3 fasa. Pemilihan waktu *close switch* dapat dilihat pada Tabel 1

TABEL 1
PEMILIHAN WAKTU CLOSE SWITCH

Sudut (°)	Waktu (detik)	Arus (A)
0	0	-3000
45	0,0025	-2565,3
90	0,005	1235,4
120	0,00666	2126,3
150	0,0083	2844,7
180	0,01	2981,1
210	0,0116	2867,2
240	0,0133	2163,2
270	0,015	-1290
300	0,0166	-2103,8
330	0,018	-2755,3
360	0,02	-3000

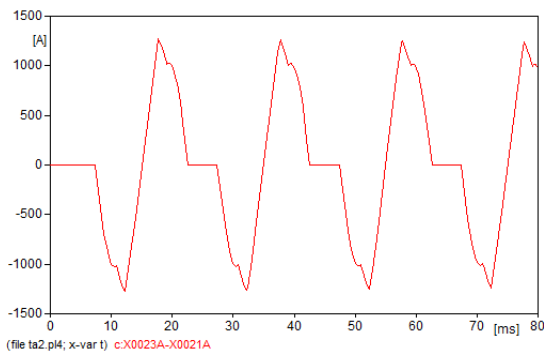
Berdasarkan Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa arus yang dihasilkan dari simulasi dengan waktu *close* setiap fasanya sama atau tidak ada selang waktu antar fasa. Dimana arus

tersebut diperoleh dari simulasi mulai dari sudut $0^\circ - 360^\circ$ tanpa selang waktu setiap fasanya. Dari hasil tabel tersebut arus terkecil yang dihasilkan dari simulasi terdapat pada sudut 90° yang bernilai 1235,4 A. Sehingga dipilihlah waktu *close* yang tepat pada sudut 90° atau pada detik ke 0.005. Sudut tersebut akan menjadi acuan bergesernya antar fasa berikutnya sebesar 90° .

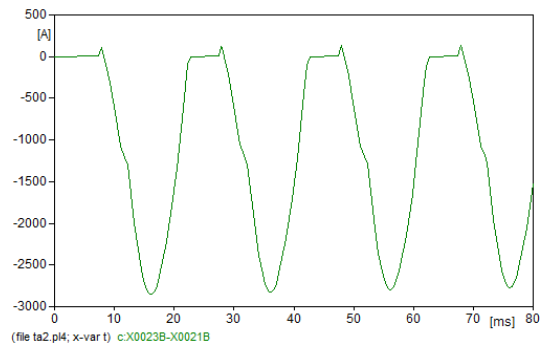
III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Simulasi Tanpa Metode SPE

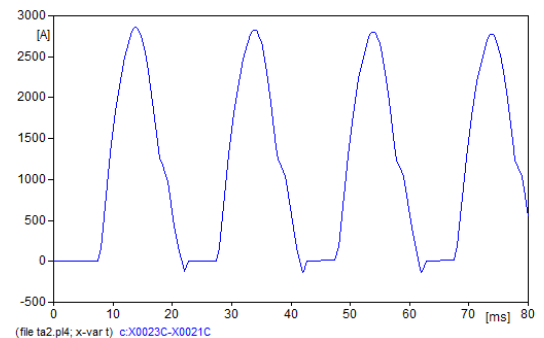
Dalam proses simulasi tanpa metode *SPE* waktu *close switch* yang digunakan adalah 0,005 semua waktu *close switch* sama/ tidak ada delay setiap fasanya. Hasil dari simulasi akan dibagi menjadi 4 grafik yang dimana fasa 1 ditandai dengan warna merah, fasa 2 warna hijau dan fasa 3 dengan warna biru. Pembagian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar lonjakan arus *inrush* dari setiap fasa. Adapun hasil dari simulasi tanpa metode *SPE* dapat dilihat pada Gambar 5 sampai Gambar 8.



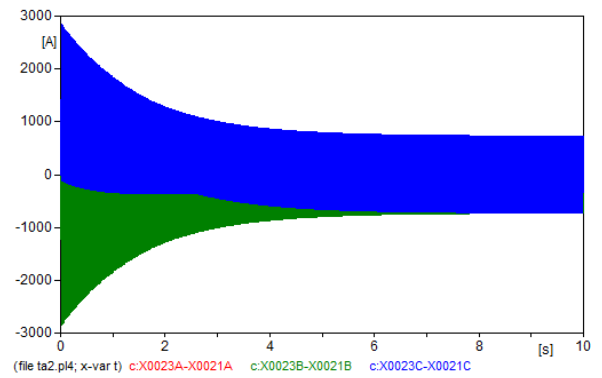
Gambar 5 Grafik arus *inrush* fasa 1



Gambar 6 Grafik arus *inrush* fasa 2



Gambar 7 Grafik arus *inrush* fasa 3



Gambar 8 Grafik arus *inrush* ketiga fasa

Pada Gambar 5 arus *inrush* fasa 1 diperlihatkan pada waktu 0.005 detik. Hal ini dikarenakan *switch* pada fasa 1 menutup pada waktu 0.005 detik sehingga arus *inrush* diperlihatkan pada detik tersebut. Pada Gambar 5 terbaca nilai arus *inrush* maksimumnya sebesar 1235,4 A. Sehingga, arus *inrush* pada fasa 1 mengalami lonjakan sebesar 5,35 kali dari arus nominal.

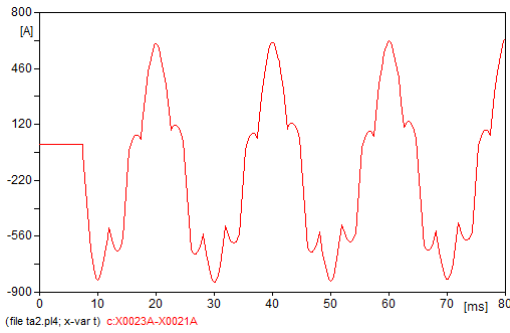
Pada Gambar 6 arus *inrush* fasa 2 diperlihatkan pada waktu 0.005 detik. Hal ini dikarenakan *switch* pada fasa 2 menutup pada waktu 0.005 detik sehingga arus *inrush* diperlihatkan pada detik tersebut. Pada Gambar 6 terbaca nilai arus *inrush* maksimumnya sebesar -2850 A. Sehingga, arus *inrush* pada fasa 1 mengalami lonjakan sebesar 12,34 kali dari arus nominal.

Pada Gambar 7 arus *inrush* fasa 3 diperlihatkan pada waktu 0.005 detik. Hal ini dikarenakan *switch* pada fasa 3 menutup pada waktu 0.005 detik sehingga arus *inrush* diperlihatkan pada detik tersebut. Pada Gambar 7 terbaca nilai arus *inrush* maksimumnya sebesar 2855,8 A. Sehingga, arus *inrush* pada fasa 1 mengalami lonjakan sebesar 12,36 kali dari arus nominal.

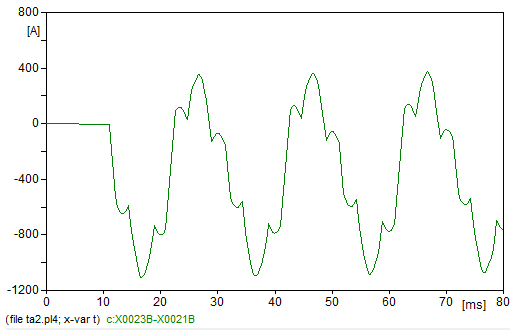
Gambar 8 menunjukkan arus *inrush* ketiga fasa. Dimana fasa 1 diketahui dengan menggunakan warna merah, fasa 2 menggunakan warna hijau, dan fasa 3 menggunakan warna biru. Tampak arus *inrush* mulai pada kondisi *steady state* pada 7,8 detik.

B. Hasil Simulasi Dengan Metode SPE

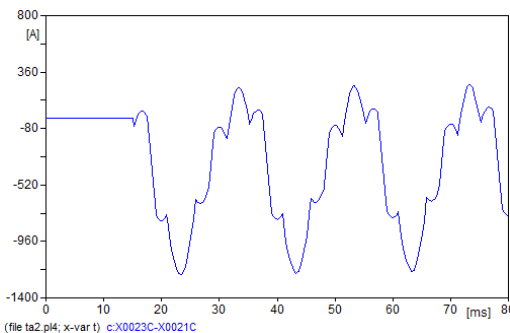
Dalam proses simulasi menggunakan metode *SPE* waktu *close switch* yang digunakan pada fasa 1 0,005, fasa 2 0,01 dan fasa 3 0,015. Hasil dari simulasi akan dibagi menjadi 4 grafik yang dimana fasa 1 ditandai dengan warna merah, fasa 2 warna hijau dan fasa 3 dengan warna biru. Pembagian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar lonjakan arus *inrush* dari setiap fasa. Adapun hasil dari simulasi menggunakan metode *SPE* dapat dilihat pada Gambar 9 sampai Gambar 12.



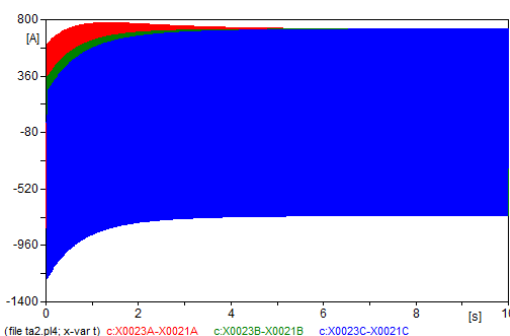
Gambar 9 Grafik arus *inrush* fasa 1



Gambar 10 Grafik arus *inrush* fasa 2



Gambar 11 Grafik arus *inrush* fasa 3



Gambar 12 Grafik arus *inrush* gabungan 3 fasa

Pada Gambar 9 arus *inrush* fasa 1 diperlihatkan pada waktu 0,005 detik. Hal ini dikarenakan *switch* pada fasa 1 menutup pada waktu 0,005 detik sehingga arus *inrush* diperlihatkan pada detik tersebut. Pada Gambar 9 terbaca nilai arus *inrush* maksimumnya sebesar -824,55 A. Sehingga, arus *inrush* pada fasa 1 mengalami lonjakan sebesar 3,57 kali dari arus nominal.

Pada Gambar 10 arus *inrush* fasa 2 diperlihatkan pada waktu 0,01 detik. Hal ini dikarenakan *switch* pada fasa 2

menutup pada waktu 0,01 detik sehingga arus *inrush* diperlihatkan pada detik tersebut. Pada Gambar 10 terbaca nilai arus *inrush* maksimumnya sebesar -1094,6 A. Sehingga, arus *inrush* pada fasa 1 mengalami lonjakan sebesar 4,74 kali dari arus nominal.

Pada Gambar 11 arus *inrush* fasa 3 diperlihatkan pada waktu 0,015 detik. Hal ini dikarenakan *switch* pada fasa 3 menutup pada waktu 0,015 detik sehingga arus *inrush* diperlihatkan pada detik tersebut. Pada Gambar 11 terbaca nilai arus *inrush* maksimumnya sebesar -1221 A. Sehingga, arus *inrush* pada fasa 1 mengalami lonjakan sebesar 5,28 kali dari arus nominal.

Gambar 12 menunjukkan arus *inrush* ketiga fasa. Dimana fasa 1 diketahui menggunakan warna merah, fasa 2 menggunakan warna hijau dan fasa 3 menggunakan warna biru. Tampak arus *inrush* mulai pada kondisi *steady state* pada 5,2 detik.

C. Perbandingan Arus *Inrush* dengan Metode SPE dan Tanpa Metode SPE

Perbandingan arus *inrush* dengan metode SPE dan tanpa metode SPE dapat dilihat pada Tabel 2

TABEL 2
PERBANDINGAN ARUS *INRUSH* DENGAN METODE SPE DAN TANPA METODE SPE

Fasa	Arus Nominal		Persentase Pengurangan Arus <i>Inrush</i>
	Tanpa Metode SPE (I_{nom})	Menggunakan Metode SPE (I_{nom})	
1	5,35	3,57	33,25 %
2	12,34	4,74	61,58 %
3	12,36	5,28	57,24 %

Pada Tabel 2 tanpa menggunakan metode *SPE* pada fasa 1 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar 1235,4 A atau mengalami lonjakan 5,35 kali dari arus nominal. Fasa 2 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar -2850 A atau lonjakan 12,34 kali dari arus nominal. Fasa 3 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar 2855,8 A atau mengalami lonjakan 12,36 kali dari arus nominal. Hasil simulasi tanpa menggunakan metode *SPE* tampak arus *inrush* mulai *steady state* pada 7,8 detik. Sedangkan saat menggunakan metode *SPE* fasa 1 menunjukan lonjakan arus *inrush* sebesar -824,55 A atau mengalami lonjakan 3,57 kali dari arus nominal. Fasa 2 menunjukan lonjakan arus *inrush* sebesar -1094,6 A atau mengalami lonjakan 4,74 kali dari arus nominal. Fasa 3 menunjukan lonjakan arus *inrush* sebesar -1221 A atau mengalami lonjakan 5,28 kali dari arus nominal. Hasil simulasi menggunakan metode *SPE* menunjukan arus *inrush* yang timbul pada ketiga fasa mencapai nilai *steady state* 5,2 detik. Sehingga metode *SPE* pada fasa 1 terjadi pengurangan sebesar 33,25 %, fasa 2 terjadi pengurangan 61,58 % dan fasa 3 terjadi pengurangan sebesar 57,24 %.

IV. KESIMPULAN

Fluks sisa sangat berpengaruh dalam lonjakan arus inrush, akan tetapi fluks sisa dapat dikurangi dengan mengontrol waktu *switching* yang tepat pada transformator. Metode *SPE* tergolong efektif dalam pengurangan arus *inrush*. Terlihat pada kondisi tidak menggunakan metode *SPE* arus *inrush* yang terbaca pada fasa 1 sebesar 1235,4 A, fasa 2 sebesar -2850 A, dan fasa 3 sebesar 2855,8 A. Pada saat menggunakan metode *SPE* arus *inrush* yang terbaca pada fasa 1 sebesar -824,55 A, fasa 2 sebesar -1094,6, fasa 3 sebesar -1221 A. Metode ini berhasil mereduksi lonjakan arus *inrush* pada fasa 1 sebesar 33,25 %, fasa 2 sebesar 61,59 % dan fasa 3 sebesar 57,24 %. Arus *inrush* yang timbul pada transformator daya tereduksi secara signifikan dibandingkan tanpa menerapkan metode, Sehingga metode ini layak diterapkan dalam pengurangan arus *inrush*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Abidin, "Metode Analisa Reduksi Pada Transformator," *Jurnal Teknik Universitas Islam Lamongan*, vol. 2, no. 1, pp 1-6, 2010.
- [2] S. Titiek, "Minimalisasi Arus Inrush Pada Transformator Daya 20 kV," *Seminar Nasional Teknoin: Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Green Technology*, Yogyakarta 11 Desember, 2010.
- [3] D. W. Darmawan, I. M. Yulistya dan D. C. Riawan "Demagnetisasi Arus Inrush Pada Transformator Fasa 1 kVA Menggunakan Metode Pengurangan Sisa Medan Magnet Dengan Menggunakan Sumber Tenaga Berfrekuensi Sangat Rendah," *Jurnal Teknik Institute Teknologi Sepuluh Novemver*, vol. 5, no. 2, pp B96-B102, 2 2016.
- [4] R. A. Turner, K. S. Smith "Resonance Excited By Transformator Inrush Current in Inter-connected offshore Power Systems," *IEEE Transmission and Distribution*, vol vol 1, pp 978-985, 2008.
- [5] K. J. Patel, "Effects of Transformer Inrush Current," *Dissertation Faculty of Health University of Southern Queensland*, 2013.
- [6] N. Chiesa, "Power Transformer Modelling For Inrush Current Calculation" *Doctoral Theses Faculty of Information Technology Norwegian University of Science and Technology*, 2010.
- [7] E. Sitorus, "Studi Pengaruh Arus Inrush dan Arus Hubung Singkat Terhadap Pengaman Transformator," *Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*, 2010.