

# PENGURANGAN ARUS INRUSH PADA TRANSFORMATOR DAYA DENGAN MENGGUNAKAN KONVERTER RAKTOR DC

Fahrul Rhozi<sup>1)</sup>, Firdaus<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam  
Pekanbaru 28293

Email: [fahrul.rhozi@student.unri.ac.id](mailto:fahrul.rhozi@student.unri.ac.id)<sup>1)</sup>; [firdaus@eng.unri.ac.id](mailto:firdaus@eng.unri.ac.id)<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

The transformer is the main element that is very important in the distribution of electricity. The fault that occurs in the transformer can blocked the process of distribution electrical energy to consumers. And one of them is the emergence of inrush currents when energizing the transformer is one phenomenon that occurs in electric power and affects differential relay performance. In operating a differential relay sometimes it is a fault which causes the protected transformer to trip despite the fact that the transformer is normal. This study proposes Reducing Inrush Current on the Garuda Sakti Substation Power Transformer, to reduce the inrush current in the power transformer when the power transformer is first turned on. The method used in this study is to use a bridge diode type DC reactor which is simulated using Matlab / Simulink software. By connecting in series with each phase of the power transformer. The simulation results the reduction value of inrush current on power transformer 1 with a difference that is at phase R = 29.7 A phase S = -10 A and phase T = -17.5 A. In power 3 transformer at phase R = 32.7 A , phase S = -11.5 A and phase T = -21.9 A. The result of the reduction in inrush current using the DC reactor is compared with the inrush current value. The result of this reduction in inrush current can reduce the inrush current on power 1 transformer at R phase 14.7%, phase S 5.7% and phase T 9.8%. In power transformer 3 it can reduce to phase R 14.5%, phase S 5.9% and phase T 10.8%

*Keywords : Inrush Current, Power Transformer, DC Reactor*

## I. PENDAHULUAN

Adanya gangguan yang terjadi pada transformator dapat menghambat proses penyaluran energy listrik ke konsumen. Salah satunya timbulnya arus *inrush* pada saat energisasi transformator merupakan salah satu fenomena yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Arus *inrush* adalah arus yang mempunyai arus cukup tinggi dan bersifat, tiba-tiba yang timbul pada saat transformator dioperasikan. Arus tersebut mempunyai nilai beberapa kali dari arus beban penuh, jika tidak ada usaha untuk mengurangi arus tersebut, maka dapat menyebabkan efek yang kurang baik terhadap kegagalan operasi system proteksi *differensial* sebuah transformator, kerusakan isolasi dan pendukung mekanis dari struktur lilitan serta mengurangi kualitas daya

sistem. Arus *inrush* menyebabkan gangguan sistem dan merusak gulungan transformator. Untuk mengurangi arus *inrush* dapat menggunakan konverter reaktor DC tipe dioda-jembatan yang menghubungkan secara seri dengan setiap fasa transformator daya.

Mrs. Manisha Wani (*Post Graduate Student*) Prof. Kalyani Kurundkar Prof. M. P. Bhawalkar melakukan penelitian Penggunaan konverter daya elektronik untuk menekan arus *inrush* pada transformator, *Magnetizing* arus *inrush* dalam hasil transformator dari perubahan mendadak tegangan magnet. Menggunakan teknik konverter elektronik daya untuk menekan arus masuk transformator dipelajari dan diverifikasi. Keuntungan utama dari metode ini adalah

rangkaian daya sederhana, operasi yang andal, tidak ada informasi yang diperlukan tentang fluks sisa, beralih instan. (Wani, 2012)

M. Tarafdar Hagh and M. Abapour, dalam penelitiannya melakukan DC reaktor *type transformer inrush current limiter*. Sebuah *limiter* arus masuk baru (ICL) disajikan untuk membatasi arus masuknya transformer. ICL yang diusulkan terdiri dari tiga set serupa. Setiap set termasuk diode-bridge dan reaktor DC tunggal dan dihubungkan secara seri dengan fase transformer individu. Simulasi dan eksperimental hasil menunjukkan kinerja yang memuaskan dari yang disebutkan ICL dalam membatasi arus masuk trafo. Keuntungan dari transformer ICL yang diusulkan adalah rangkaian daya sederhana topologi, operasi andal dan tidak perlu kontrol, pengukuran, perlindungan dan sirkuit pengemudi gerbang. (M. Tarafdar Hagh M. Abapour, 2007)

Prashant Kumar and S.Yogendra Reddy, dalam penelitiannya melakukan Optimalisasi Arus *inrush* dalam Transformator Listrik, Perangkat yang digunakan dalam makalah ini terdiri dari sumber dc tegangan rendah. Sebelum pengumpanan diberi energi kembali, fluks sisa direduksi ke tingkat minimum dan sebagai konsekuensinya, arus *inrush* yang besar dikurangi ke tingkat yang dapat diterima. Ini sangat meningkatkan kemungkinan bagi pengumpanan untuk berhasil diberi energi ketika sebaliknya perjalanan palsu akan terjadi. Arus pengurangan saat ini lebih dari 60% diperoleh di kepala pengumpanan. ( Prashant Kumar S.Yogendra Reddy , 2013)

### Arus inrus

Ketika transformator diambil secara *off-line*, sejumlah sisa fluks tetap dalam inti karena sifat bahan inti magnetik. Sisa fluks dapat sebanyak 50 hingga 90% dari fluks operasi maksimum, tergantung pada jenis baja inti. Ketika tegangan diterapkan kembali ke transformator, fluks yang diperkenalkan oleh tegangan sumber ini terbentuk pada inti.

Dalam urutan untuk mempertahankan tingkat fluks pada inti yang dapat menjadi rentang saturasi baja inti, transformator dapat menarik arus jauh melebihi arus beban penuh terukur dari transformator. Tergantung pada desain transformator, besarnya lonjakan arus ini bisa di mana saja dari 3,5 hingga 40 kali nilai beban penuh saat ini. Bentuk gelombang dari arus *inrush* mirip dengan gelombang sinus, tetap sebagian besar condong ke arah positif atau negatif.

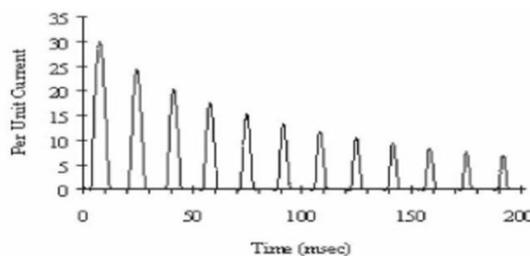
Arus *inrush* dapat memiliki efek pada operasi relay dan sekering yang terletak di sistem dekat transformator. Perkiraan arus *inrush* yang layak membutuhkan informasi terperinci mengenai desain transformator, yang mungkin tersedia dari pabrikan. (Harlow, 2007)

### Arus *Inrush* Pada Transformator daya

Ketika suatu transformator di hubungkan dengan suatu sumber tegangan untuk yang pertama kalinya, akan ada suatu *surge* arus tambahan melewati kumparan primer yang disebut arus *inrush*. Besar amplitudo arus *inrush* tergantung dari magnitudo tegangan sumber, fluks sisa didalam inti, dan impedansi dari rangkaian pada saat trafo dihubungkan dengan sumber. (Suheta, 2010)

Ada transien yang terjadi pada transformator daya ini dapat dikategorikan sebagai transien internal dan eksternal. Eksternal transien adalah karena beralih operasi. Transien internal mengikuti tiga jenis. *Magnetizing inrush current, Internal fault, Over excitation.*

*Magnetizing inrush current*, dalam hasil transformator, dari perubahan mendadak pada tegangan magnet. Gelombang arus *inrush* mengandung komponen DC yang besar dan tahan lama dan kaya harmonik. Ini mungkin mencapai nilai puncak yang besar di awal (hingga 30 kali nilai pengenal), meluruh secara substansial setelah beberapa sepersepuluh detik, tetapi peluruhan penuh hanya terjadi setelah beberapa detik Gelombang arus *inrush* dapat dilihat pada gambar. 1.



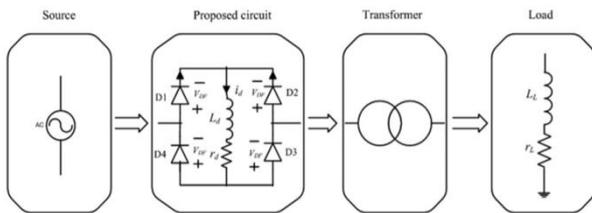
Gambar 1. Magnetisasi arus *inrush* (Suheta, 2010)

### Teknik Pengurangan Arus *Inrush*

Teknik sederhana dan efisien untuk pengurangan lonjakan arus pda saat terjadi arus *inrush* dapat menggunakan konverter tipe reaktor DC

dalam aliran pembatas arus (*inrush current limiter*).

Rangkaian teknik pengurangan arus *inrush* berbasis kompensator untuk membatasi arus *inrush*, ditampilkan pada gambar 2. pada transformator yang digunakan. Sirkuit berbasis kompensator ini terdiri dari reaktor DC tipe dioda-jembatan yang dihubungkan secara seri dengan setiap fase transformator. ICL terdiri dari jembatan dioda dan reaktor DC



Gambar 2. Rangkaian daya fase tunggal dari ICL. (M. Tarafdar Hagh M. Abapour, 2007)

ICL terdiri dari jembatan dioda dan reaktor DC. rd dan Ld untuk resistensi dan induktansi reaktor DC. Dengan memilih nilai yang tepat untuk Ld, dapat mencapai arus DC yang hampir sama dengan reaktor DC pada saat operasi trafo steady-state. Tentunya nilai yang tepat untuk Ld tergantung pada parameter listrik utilitas dan transformator dengan persamaan sebagai berikut (1):

$$L_d = \frac{RT/4}{\ln\left(\frac{Ri_2 - V_{DS} + 2V_{DF}}{-V_{DS} + 2V_{DF}}\right)} - L_s - L_e \quad (1)$$

Keterangan :

- Ld = Induktansi reaktor DC
- R = Resistansi
- T = periode frekuensi daya
- i2 = Arus sekunder transformator
- VDS =  $2\sqrt{2}/\pi$  Tegangan rata-rata sumber
- VDF = Tegangan turun pada dioda
- Ls = Induktansi sumber
- Le = Induktansi *magnetizing* transformator

R merupakan resistansi jumlah resistansi reaktor DC dan resistansi primer transformator dengan persamaan. (M. Tarafdar Hagh, M. Abapour, 2007)

$$R = R_p + R_{ICL} \quad (2)$$

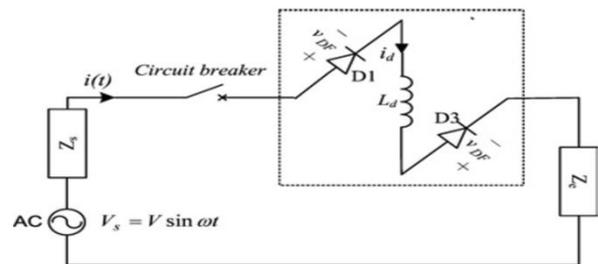
Keterangan :

- Rp = Resistansi primer
- RICL = Resistansi ICL

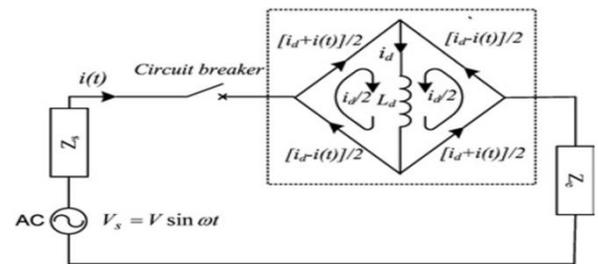
Oleh karena itu reaktor DC tidak memiliki peran signifikan dalam operasi normal sistem. Metode ini dapat dijelaskan dengan dua mode operasi, yaitu

- a. Mode pengisian
- b. Mode pengeluaran

Satu sirkuit ekivalen fasa mode pengisian ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan suplai adalah sinusoidal dan impedansi setara dari sumber dan saluran transmisi adalah Zs.



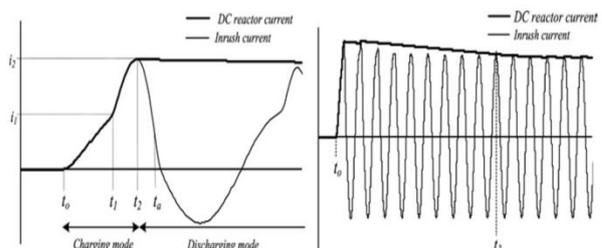
a. Mode pengisian



b. Mode pengeluaran

Gambar 3. Metode kerja reaktor DC (Suheta, 2010)

Arus *inrush* dan arus reaktor DC untuk transformator tipikal ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Gelombang arus *inrush* dan arus reaktor DC. (Suheta, 2010)

Pada  $t = t_0$ , ketika transformator diberi energi, lonjakan arus mulai naik. Pada  $t_0$ , dioda D1 dan D3 menyala dan reaktor DC terhubung di sirkuit. Dalam mode pengisian ini, tegangan di seluruh  $L_d$  menyebabkan keterbatasan arus masuk. Pada  $t = t_2$ , ketika arus mencapai nilai maksimum, mode pemakaian berkerja. Selama mode ini, arus *inrush* kurang dari arus reaktor DC.

Sebenarnya, reaktor DC terhubung pendek oleh dioda dan itu tidak berpengaruh pada operasi rangkaian. Setelah  $t = t_2$ , reaktor DC terlepas karena resistansi dan tegangan dioda menurun.

Pada  $t = t_3$ , arus reaktor mencapai lagi sama dengan arus beban seperti yang ditunjukkan di atas. Antara periode waktu  $t_2$  dan  $t_3$ , reaktor DC tidak berpengaruh pada operasi rangkaian karena tidak ada mode pengisian dalam operasinya. Demikian pula, setelah  $t = t_3$ , ICL hampir tidak berpengaruh pada operasi rangkaian karena reaktor DC membawa arus DC. Dengan demikian ICL membatasi arus masuk tanpa efek yang cukup besar pada operasi sirkuit steady-state

### Faktor Besarnya Durasi Arus *Inrush*

Bentuk, besarnya dan durasi arus *inrush* tergantung pada beberapa faktor Berikut ini adalah:

#### 1. Ukuran transformator

Nilai puncak lonjakan arus magnetisasi lebih tinggi (yaitu 30 kali arus RMS terukur) untuk transformator yang lebih kecil sedangkan untuk transformator tipe gardu yang lebih besar arus *inrush* lebih rendah, tetapi durasinya lebih lama. Konstanta waktu untuk arus *inrush* adalah dalam kisaran 0,1 detik untuk transformator kecil (100 kVA kebawah) dan dalam kisaran 1 detik untuk unit yang lebih besar.

#### 2. Impedansi sistem transformator

Besarnya arus *inrush* tergantung pada tingkat hubung singkat yang tersedia pada primer transformator. Juga, resistansi total yang terlihat dari sumber yang setara ke cabang magnet memberikan kontribusi terhadap redaman arus. Dengan demikian, transformator yang lebih dekat ke pembangkit memperlihatkan arus masuk yang berlangsung lebih lama daripada transformator yang dipasang secara elektrik jauh dari generator.

#### 3. Sifat magnetik bahan inti

Lonjakan magnetisasi lebih parah ketika kepadatan fluks saturasi inti rendah. Desainer bekerja dengan kerapatan fluks 1,5 hingga 1,75 Tesla. Transformator yang beroperasi lebih dekat ke

nilai terakhir menampilkan arus *inrush* yang lebih rendah .

#### 4. Remanence di dalam inti

Ketika sebuah transformator di-energized tegangan magnetisasi diambil, arus magnetisasi pergi ke nol sedangkan fluks mengikuti loop histeresis dari core. Ini menghasilkan fluks remanen tertentu yang tersisa di inti.

Ketika, transformator dihidupkan kembali oleh tegangan sinusoidal bolak-balik, fluks juga menjadi sinusoidal tetapi bias oleh remanen. Fluks residual dapat setinggi 80-90% dari fluks terukur, dan karenanya dapat menggeser lintasan arus fluks jauh di atas titik tengah karakteristik yang menghasilkan nilai puncak besar dan distorsi berat arus magnetisasi.

### Dampak Negatif Arus *Inrush*

Dampak yang dihasilkan oleh arus *inrush* diantaranya:

1. Sering sistem proteksi dari transformator mengalami kesalahan kerja.
2. Timbulnya masalah kualitas daya pada sistem kelistrikan (overvoltages dan voltage sags)
3. Memungkinkan terjadinya kesalahan operasi pada sistem pengaman beban lebih dan gangguan internal yang menyebabkan lepasnya transformator dari sistem.
4. Dapat merusak transformator karena kerusakan mekanik pada belitan yang teraliri arus *inrush*.
5. memperpendek umur kerja transformator karena arus *inrush* mempengaruhi isolasi dan belitan transformator (Suheta, 2010)

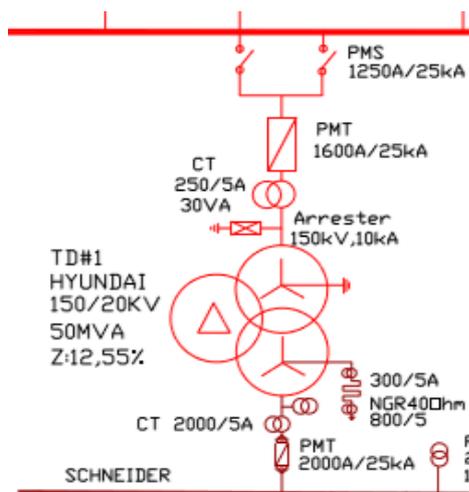
## II. METODA PENELITIAN

Pada penulisan skripsi ini dilakukan penelitian dengan data transformator daya yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) GI Garuda Sakti, kemudian dilakukan pemodelan dari data transformator daya listrik tersebut menggunakan Matlab/Simulink. Selanjutnya dilakukan simulasi gangguan arus *inrush* pada pemodelan tersebut. Kemudian data-data yang diperoleh di jadi sebagai masukan dari simulasi pengurangan arus *inrush*. Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* berupa sinyal gelombang arus yang telah direduksi reaktor DC.

### Pemodelan Sistem Transformator Daya

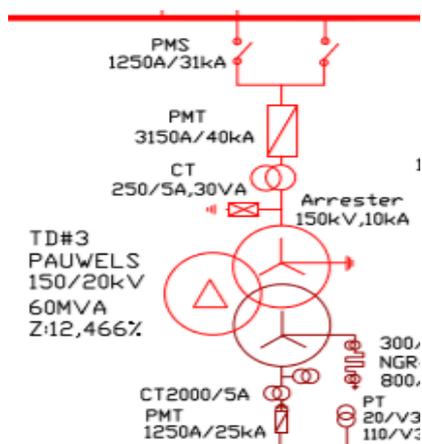
Pemodelan sistem transformator daya yang digunakan sebagai objek penelitian, perhitungan

parameter-parameter yang digunakan untuk pemodelan serta simulasi pengurangan arus *inrush* pada pemodelan sistem transformator daya di Matlab. Sistem transformator daya yang digunakan sebagai objek penelitian merupakan sistem transformator daya GI Garuda Sakti dimana memiliki 4 sistem transformator daya dan yang di jadikan sebagai objek penelitian adalah sistem transformator daya 1 dan 3, yang dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Single line diagram transformator daya 1 GI garuda sakti 150/20 kV

Transformator daya 1 objek penelitian merek HYUNDAI. Data-data teknis atau spesifikasi peralatan sistem tenaga yang memiliki daya 50 MVA, impedansi 12,55%



Gambar 7. Single line diagram transformator daya 3 GI garuda sakti 150/20 kV

Transformator daya 3 objek penelitian merek PAUWELS. Data-data teknis atau spesifikasi

peralatan sistem tenaga yang memiliki daya 60 MVA, impedansi 12,466%.

### Perhitungan Nilai Parameter Sistem Transformator Daya

Dari data teknis yang diberikan, tidak semua nilai parameter pemodelan sistem transmisi pada Matlab telah terpenuhi. Ada beberapa nilai parameter Matlab yang harus dihitung menggunakan data teknis tersebut. Pada rangkaian simulasi pengurangan arus *inrush* yang diterapkan pada Matlab/Simulink diperlukan nilai induktansi reaktor DC ( $L_d$ ) yang digunakan sebagai nilai induktansi ICL pada rangkaian reaktor DC. Reaktor DC memiliki resitansi  $0.1 \Omega$  dan resistansi primer transformator daya  $191,26 \Omega$  yang terlihat pada tabel 1. sehingga didapatkan nilai R sebagai berikut:

$$R = 191,26 + 0.1 = 191,26 \Omega$$

Setelah nilai R di diketahui kemudian dapat di cari nilai  $L_d$  dengan menggunakan persamaan 1 di dapat nilai  $L_d$  sebagai berikut.

$$L_d = \frac{191,26 \times 0,02 / 4}{\ln\left(\frac{191,26 \times 38490 - 2\sqrt{2} + 2 \times 3}{-2\sqrt{2} + 2 \times 3}\right)} - 0,37 - 0,7 = 0,268 \text{ H}$$

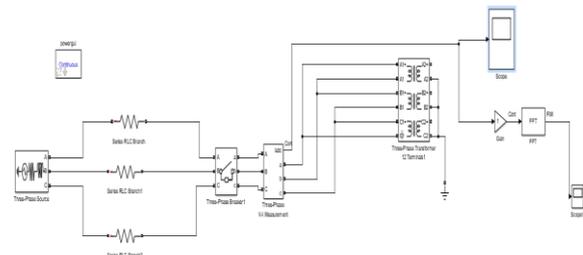
Tabel 1. Parameter masukan (GI Garuda Sakti)

Input	
Tegangan dasar	150 Kv
Penetapan MVA dasar	100 MVA
Impedansi	191,25 $\Omega$
Induktansi	0,37 H
Induktansi magnetizing	0,70 H
Impedansi dasar 150 Kv	225 $\Omega$
Impedansi dasar 20 Kv	40 $\Omega$

### Pemodelan Sistem Transformator Daya via Matlab/Simulink

Pemodelan transformator daya 1 dan transformator 3 GI garuda sakti dalam keadaan normal dengan menggunakan Matlab/Simulink dapat dilihat pada Gambar 8. Pemodelan transformator daya ini saat dalam keadaan normal, belum terdapat model pengurangan arus *inrush*. Hal ini juga dilakukan untuk membandingkan arus

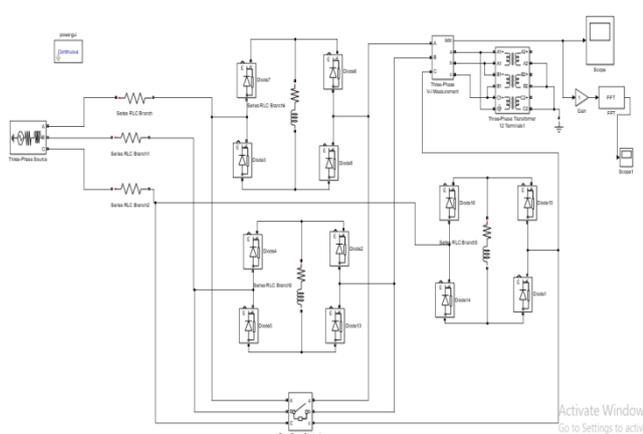
*inrush*, pada saat terjadi arus *inrush* di transformator daya dan setelah dilakukan pengurangan arus *inrush* dengan reaktor DC yang terjadi pada transformator daya GI Garuda Sakti.



Gambar 8. Pemodelan transformator daya GI garuda sakti dalam keadaan normal.

### Pemodelan Sistem Transformator dengan Menggunakan Reaktor DC via Matlab/Simulink

Pemodelan transformator daya GI garuda sakti dalam keadaan gangguan arus *inrush* dengan menggunakan Matlab/Simulink dapat dilihat pada Gambar 9. Pemodelan transformator daya yang terhubung dengan reaktor DC, dapat dilihat bahwa pada pemodelan reaktor DC terhubung seri dengan transformator daya. Model tersebut akan menghubungkan langsung transformator dengan reaktor DC. Simulasi pengurangan arus *inrush* ini dapat mengurangi arus *inrush* pada saat transformator pertama kali di hidupkan. Hasil simulasi berupa gelombang arus yang telah di reduksi dengan reaktor DC.

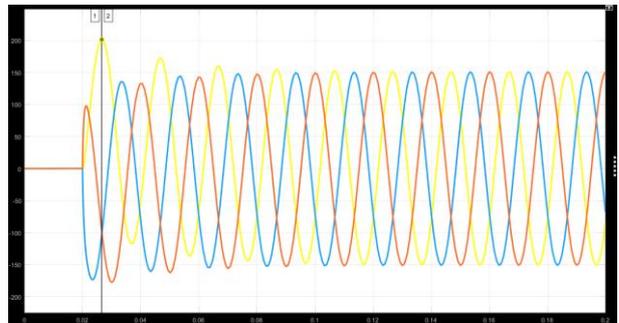


Gambar 9. Pemodelan transformator daya GI garuda sakti menggunakan reaktor DC

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

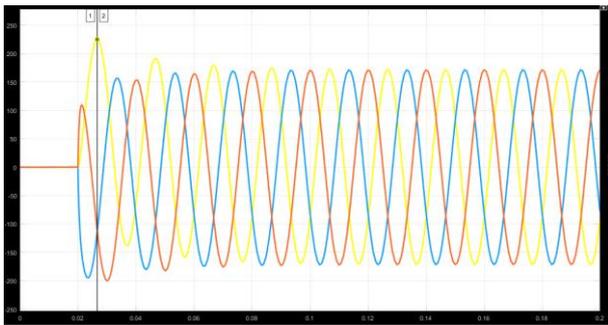
### Hasil simulasi Arus Inrush pada Transformator Daya 1 dan 3

Pemodelan sistem transformator pada Matlab dilakukan saat kondisi normal dan gangguan arus *inrush* pada saat *starting* awal transformator daya. Verifikasi dilakukan pada transformator daya 1 dan transformator daya 3 GI Garuda Sakti. Yang terlihat pada gambar 10. Bahwa arus mengalami lonjakan yang lebih tinggi dari arus normalnya saat starting awal transformator daya 1, ataupun bisa disebut transformator daya 1 mengalami terjadinya gangguan arus *inrush*, dan nilai arus *inrush* pada fasa R, S dan T diketahui dengan nilai puncak pada fasa R = 201,4 A, fasa S = -173,5 A, dan fasa T = -177,1 A. yang lebih besar dari arus normalnya sebesar 150 A.



Gambar 10. Hasil simulasi gangguan arus *inrush* pada transformator daya 1

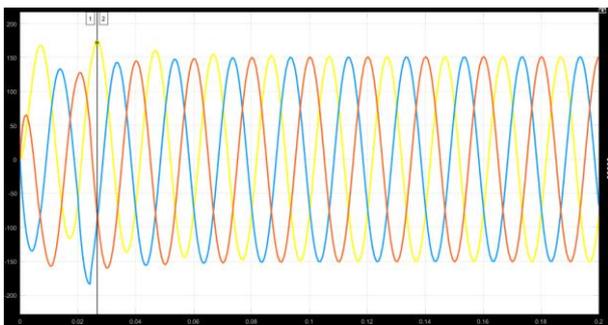
Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* pada transformator 3 menunjukkan bahwa arus mengalami lonjakan yang lebih tinggi terlihat pada gambar 11. Dengan nilai puncak pada fasa R = 224,9 A, fasa S = -194,7 A, dan fasa T = -201,1 A yang lebih besar dari arus normalnya sebesar 170 A. Nilai puncak pada fasa R, S dan T mengalami penurunan secara bertahap hingga arus *inrush* sama dengan arus normal pada transformator daya, lonjakan arus yg besar ini dapat mempercepat kerusakan transformator daya sehingga perlu untuk di reduksi.



Gambar 11. Hasil simulasi gangguan arus *inrush* pada transformator daya 3

### Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* transformator daya 1

Simulasi pengurangan arus *inrush* pada transformator daya 1 setelah di hubungkan dengan reaktor DC. Dapat di lihat pada gambar 12. Bahwa lonjakan arus atau arus *inrush* sudah tidak terlalu besar dari arus normal transformator daya 1, ini menunjukkan bahwa lonjakan arus sudah di reduksi sehingga dapat meminimalisi kerusakan transformator daya akibat arus *inrush*. Nilai puncak arus *inrush* pada saat strating transformator daya 1 adalah pada fasa R sebesar 171,7 A, fasa S sebesar -163,5 A, fasa T sebesar -159,6 A lebih kecil dari pada nilai puncak arus *inrush* transformator daya 1 sebelum dilakukan pengurangan arus *inrush*, pada fasa R sebesar 201,4 A, fasa S sebesar -173,5 A , fasa T sebesar -177,1 A.



Gambar 12. Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* pada transformator daya 1.

### Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* transformator daya 3

Simulasi pengurangan arus *inrush* transformator daya 3 setelah di hubungkan dengan reaktor DC. Dapat dilihat pada gambar 13. Dengan nilai puncak arus *inrush* yang didapat pada transformator daya 3 setelah di lakukan pengurangan arus *inrush* pada fasa R sebesar 192,2 A, fasa S sebesar -183,2 A, fasa T sebesar -179,7 A

lebih kecil dari pada nilai puncak arus *inrush* transformator daya 3 sebelum di lakukan pengurangan arus *inrush*, pada fasa R sebesar 224,9 A, fasa S sebesar -194,7 A , fasa T sebesar -201,1 A.



Gambar 13. Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* pada transformator daya 3

### Hasil Perbandingan Arus *Inrush* Pada Transformator Daya GI Garuda Sakti

Hasil simulasi pengurangan arus *inrush* pada transformator daya GI Garuda Sakti yang di simulasikan disistem transformator daya 1 dan transformator daya 3, pada tabel 2 dan 3. Dengan nilai hasil yang didapat dari perbandingan arus *inrush* sebelum direduksi dan setelah direduksi yang di ambil pada titik puncak arus *inrush*.

Tabel 2. Hasil perbandingan nilai arus *inrush* sebelum dan sesudah di lakukan pengurangan pada transformator daya 1.

Fasa	Arus <i>inrush</i>		Selisih	Hasil
	Tanpa Reaktor DC	Guna Reaktor DC		
R	201,4 A	171,7 A	29,7 A	14,7 %
S	-173,5 A	-163,5 A	-10 A	5,7 %
T	-177,1 A	-159,6 A	-17,5	9,8 %

Pada transformator daya 1. Reaktor DC dapat mengurangi arus inrus pada fasa R sebesar 14,7%, pada S sebesar 5,7% dan pada fasa T sebesar 9,8%.

Tabel 3. Hasil perbandingan nilai arus *inrush* sebelum dan sesudah di lakukan pengurangan pada transformator daya 3.

Fasa	Arus <i>inrush</i>		Selisih	Hasil
	Tanpa	Guna		
R	224,9 A	192,2 A	32,7 A	14,5 %
S	-194,7 A	-183,2 A	-11,5 A	5,9 %
T	-201,1 A	-179,7 A	-21,4 A	10,7 %

	Reaktor DC	Reaktor DC		
R	224,9 A	192,2 A	32,7 A	14,5 %
S	-194,7 A	-183,2 A	-11,5 A	5,9 %
T	-201,1 A	-179,2 A	- 21,9 A	10,8 %

pada transformator daya 3. Reaktor DC dapat mengurangi arus inrush pada fasa R sebesar 14,5%, pada S sebesar 5,9% dan pada fasa T sebesar 10,8%.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa pengurangan arus inrush dengan reaktor DC pada transformator daya GI Garuda Sakti sebagai klasifikasi gangguan arus *inrush* GI Garuda Sakti dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu: Hasil selisih arus *inrush* yang di dapat, tanpa reaktor DC dan menggunakan reaktor DC pada tranformator daya 1, arus *inrush* dapat dikurangi pada fasa R = 29,7 A fasa S = -10 A dan fasa T = -17,5 A. Untuk transformator daya 3 arus *inrush* dapat dikurangi sebesar pada fasa R = 32,7 A, fasa S = -11,5 A dan fasa T = -21,9 A. Jadi dari hasil ini reaktor DC dapat menurunkan arus *inrush* ditransformator daya 1 pada fasa R 14,7%, fasa S 5,7% dan fasa T 9,8%. Untuk transformator daya 3 dapat dikurangi pada fasa R 14,5%, fasa S 5,9% dan fasa T 10,8%. Reaktor DC dapat mengurangi arus *inrush* dari 5,7% minimum sampai 14,7% maximumnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khalifah. A. K. dan El-Saadany. E. F., 2006, *Investigation of Magnetizing Inrush Current in a Single-Phase Transformer*, Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Canada,
- Anonim, 2013, *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*, PT PLN (persero) Peyaluran dan Pusat Pengaturan Jawa-Bali.
- Anonim, 2018, *Pola Proteksi Gardu Induk*, PT PLN (persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- Fahnani. G. F. dan Karnoto ST, MT., 2010, *Analisis Pengukuran Dan Pemeliharaan Transformator Daya Pada Gardu Induk 150 Kv Sronдол*, Fakultas Teknik, Universitas

Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang.

- F. Fard Ali Asghar, and K. P. Basu., 2009, *Reduction of three-phase transformer magnetizing inrush current by use of point on wave switching*. 978-1-4244-5187-6
- Hagh M. T. dan Abapour .M.,2007, *DC reactor type transformer inrush current limiter*, The Institution of Engineering and Technology.
- Harlow, J. H., 2006, *Electrik Power Transformer Engineering*, Taylor & Francis Group, LLC. New York.
- Madani,S.M., Rostami,M., Gharehpetian,G.B., Haghmaram., 2012, *Inrush current limiter based on three-phase diode bridge for Y-yg transformers*, The Institution of Engineering and Technology.
- Suheta T., 2010, *Minimalisasi Arus Inrush Pada Transformator Daya 20 Kv* Yogyakarta.
- Wani M., *Use of Power Electronic Converters to Suppress Transformer Inrush Current*, Electrical Engineering PVG's College of Engineering and Technology Pune, India.