

# Studi Pemasangan Damping Reaktor untuk Mengatasi Feroresonansi pada *Incoming* 20 kV GIS Tandem

Satria Seventino Simamora, I Made Yulistya Negara, Daniar Fahmi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: satriasimamora17@gmail.com

**Abstrak** — Pada studi ini, dilakukan simulasi pemasangan damping reaktor sebagai salah satu teknik mitigasi feroresonansi dengan menggunakan ATP Draw. Damping reaktor sebagai teknik mitigasi feroresonansi menggunakan elemen resistor yang dipasang di sisi primer transformer. Hasil dari simulasi pemasangan damping reaktor yang diperoleh berupa respon arus dan respon tegangan yang berubah terhadap waktu yang menunjukkan apakah feroresonansi dapat diredam atau tidak. Dari hasil simulasi pemasangan damping reaktor pada studi ini diperoleh bahwa feroresonansi dapat diredam dengan pemasangan nilai damping yang tepat. Sehingga dalam studi ini akan dibahas mengenai sejauh mana keefektifan dari pemasangan damping untuk meredam feroresonansi.

**Kata Kunci**— Feroresonansi, Transformator, Damping reaktor, ATP/EMTP.

## I. PENDAHULUAN

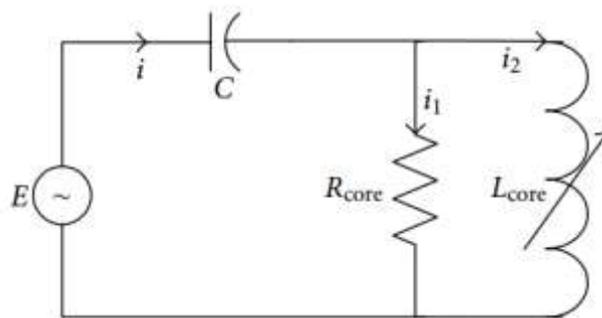
Trafo dalam sistem transmisi merupakan peralatan listrik yang menjadi inti dari penyaluran listrik kepada konsumen [1]. Penggunaan trafo dalam sistem transmisi sangat memungkinkan untuk terjadinya sebuah fenomena kelistrikan yang sangat unik yakni feroresonansi. Feroresonansi sendiri tidak dapat dihindari ataupun diprediksi kapan terjadi. Hal ini dikarenakan adanya ketidaklinearan yang timbul pada sistem yang mengakibatkan feroresonansi susah untuk diperkirakan kapan terjadi. Feroresonansi sendiri bersifat merusak dan sangat mengganggu sistem transmisi.

Ketika feroresonansi terjadi dan tidak segera diatasi maka peralatan listrik seperti trafo akan mengalami kerusakan [2]. Contoh kerusakan yang akan dialami trafo adalah terbakar. Selain berbahaya bagi peralatan, arus dan tegangan yang timbul akibat feroresonansi menjadi sangat berbahaya bagi operator. Efek lain ketika feroresonansi terjadi adalah sistem proteksi pada sistem transmisi gagal bekerja. Hal tersebut akan mempengaruhi keandalan dari sistem transmisi tersebut. Permasalahan yang timbul akibat feroresonansi harus segera diatasi atau ditangani. Salah satu cara yang efektif digunakan adalah dengan melakukan pemasangan *damping reaktor*.

## II. FERORESONANSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

### A. Feroresonansi

Feroresonansi atau resonansi non-linier merupakan fenomena kelistrikan kompleks nonlinear yang dapat



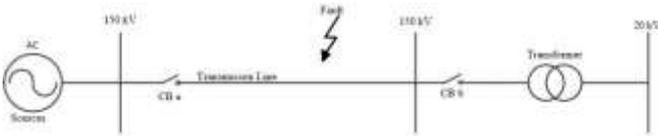
Gambar 1 Rangkaian Pemodelan Feroresonansi

mengakibatkan tegangan lebih pada sistem tenaga sehingga membahayakan sistem transmisi, sistem proteksi, peralatan listrik maupun operator. Apabila terdapat gangguan pada sistem dan tidak dapat dijelaskan secara spesifik jenis gangguannya, kemungkinan hal tersebut merupakan gejala dari feroresonansi.

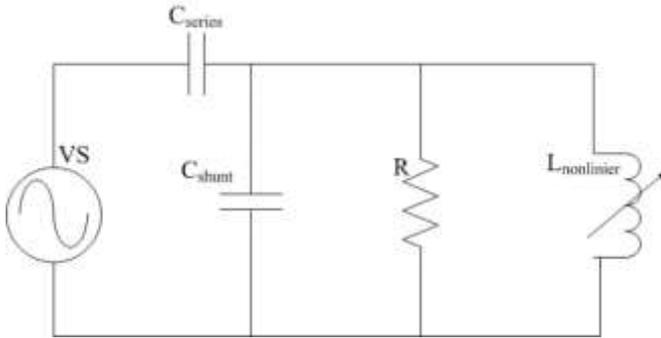
Rangkaian resonansi seri digunakan untuk lebih memudahkan memahami feroresonansi. Pada rangkaian resonansi penggunaan induktor diganti menjadi induktor nonlinear sebagai pemodelan dari inti trafo sehingga rangkaiannya berubah menjadi rangkaian feroresonansi. Sama halnya dengan resonansi yang terjadi pada rangkaian resonansi seri, rangkaian feroresonansi ketika mengalami resonansi, impedansi akan sangat kecil sehingga arus pada rangkaian akan naik. Arus yang naik menyebabkan rapat fluks juga akan naik mencapai titik saturasi dan tidak lagi menjadi linear. Ketika nilai arus yang naik pada inti trafo yang bersifat feromagnetik melalui titik saturasinya maka induktansi akan berubah sangat cepat (menjadi nonlinear). Sehingga ketika terjadi interaksi antara kapasitor dan inti besi induktor akan menghasilkan tegangan dan arus yang tidak biasa. Hal ini akan sangat berbahaya bagi sistem dan peralatan listrik. Gambar rangkaian feroresonansi dengan induktor menggunakan induktor nonlinear dapat dilihat pada Gambar 1.

### B. Mitigasi Feroresonansi dengan Pemasangan Damping

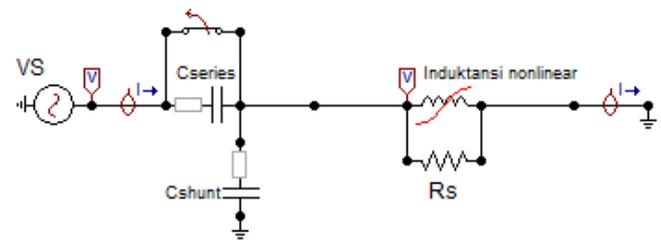
Pada studi ini dari beberapa cara mitigasi feroresonansi, yang digunakan adalah teknik mitigasi dengan pemasangan damping reaktor. Penggunaan damping reaktor dalam studi ini adalah dengan cara menyisipkan atau memasang damping berupa resistor ataupun induktor.



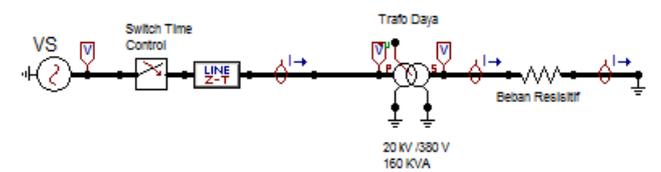
Gambar 2 Single Line Diagram Sistem Transmisi 150 kV



Gambar 3 Rangkaian Ekuivalen Feroresonansi Reduksi



Gambar 4 Rangkaian Simulasi Feroresonansi



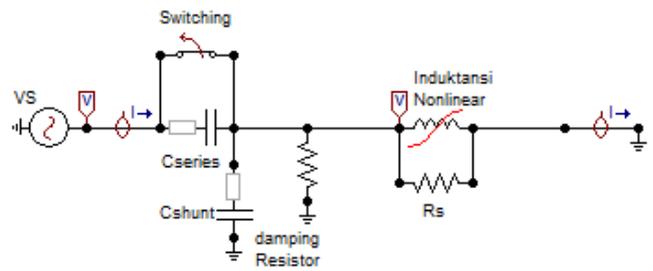
Gambar 5 Simulasi ATP Akibat Pembukaan Saluran

### III. PEMODELAN SISTEM

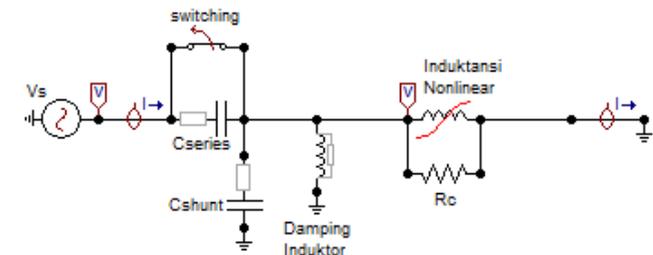
#### A. Feroresonansi pada Gardu Induk

Pada sebuah sistem tenaga, feroresonansi dapat saja terjadi tanpa ada sebab akibat yang jelas mengapa dapat terjadi dan juga tidak dapat diprediksikan. Oleh karena hal tersebut perlu dilakukan simulasi untuk mengetahui apakah gejala-gejala yang menyebabkan feroresonansi pada sistem berada pada ambang aman atau tidak.

Pada studi ini simulasi dilakukan dengan membuat sebuah model rangkaian feroresonansi ketika sebuah *circuit breaker* bekerja saat ada gangguan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pemodelan yang digunakan seperti pada Gambar 2, direduksi menjadi sebuah rangkaian ekuivalen feroresonansi seperti pada Gambar 9 dimana terdapat elemen  $C_{series}$ ,  $C_{shunt}$ , nilai resistansi ( $R$ ) dan Induktansi Nonlinear.  $C_{series}$  merupakan nilai kapasitif yang timbul akibat pemutusan beban oleh *switching* sedangkan  $C_{shunt}$  diperoleh dari nilai kapasitif yang didapatkan dari nilai kapasitif saluran transmisi dan distribusi, penggunaan *capacitor banks* serta penggunaan alat pengukuran seperti trafo kapasitif (*Capacitive Voltage Transformer*).



Gambar 6 Rangkaian Simulasi Mitigasi Feroresonansi akibat Mengubah  $C_{series}$  dengan pemasangan Damping Resistor



Gambar 7 Rangkaian Simulasi Mitigasi Feroresonansi akibat Mengubah  $C_{shunt}$  dengan memasang Damping Induktor

#### B. Feroresonansi Akibat Saluran Trafo Dibuka

Pada studi ini sebuah pemodelan trafo yang salah satu atau lebih salurannya dibuka akan disimulasikan untuk melihat efek dari pembukaan salurannya. Pemodelan rangkaian terdiri dari *switch time* yang digunakan untuk membuka saluran dengan settingan waktu yang ditetapkan. Model rangkaian simulasi dengan salah satu atau lebih saluran trafo dibuka dapat dilihat pada Gambar 5.

#### C. Mitigasi Feroresonansi pada Gardu Induk

##### 1. Mitigasi Feroresonansi dengan Damping Resistor

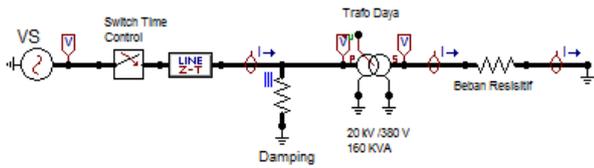
Rangkaian simulasi mitigasi feroresonansi dengan menggunakan damping berupa elemen resistor dapat dilihat pada Gambar 6.

##### 2. Mitigasi Feroresonansi dengan Damping Induktor

Rangkaian simulasi mitigasi feroresonansi dengan menggunakan damping berupa elemen induktor dapat dilihat pada Gambar 8. Pemasangan damping reaktor berupa elemen induktor digunakan untuk memitigasi feroresonansi. Rentang nilai elemen induktor yang diuji untuk meredam feroresonansi adalah 0.1 mH – 10 H.

#### D. Mitigasi Feroresonansi akibat Membuka Saluran Trafo

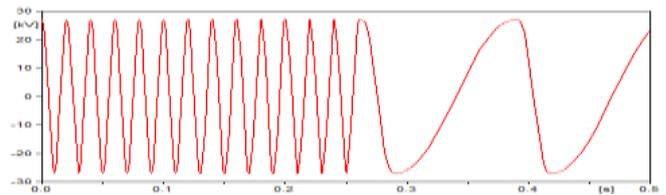
Feroresonansi yang dimunculkan dengan membuka salah satu saluran fasa tersebut dapat diatasi dengan beberapa cara bentuk teknik mitigasi. Pada studi ini membahas teknik mitigasi yang digunakan untuk meredam feroresonansi dengan menggunakan damping reaktor berupa resistor. Rangkaian simulasi dapat dilihat pada Gambar 8. Simulasi rangkaian mitigasi feroresonansi seperti pada Gambar 8 akan menghasilkan respon arus dan tegangan yang menunjukkan feroresonansi dapat dimitigasi dengan pemasangan damping reaktor yang sesuai sehingga dapat meredam feroresonansi.



Gambar 8 Rangkaian Mitigasi Feroresonansi menggunakan Damping Resistor akibat Membuka Satu Saluran

Tabel 1 Efek Pengubahan Nilai Cseries

Cseries (μF)	Tegangan Puncak Trafo (KV)		Arus Puncak (A)		Frekuensi (Hz)		Fero resonansi
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
0.001	26.94	26.6	0.96	0.08	50	50	Tidak
0.01	26.94	30.9	0.96	0.36	50	50	Tidak
0.1	26.94	112.5	0.96	15.4	50	50	Ya
1	26.94	35.7	0.96	3.72	50	50	Ya
10	26.94	27.1	0.96	0.97	50	50	Tidak
100	26.94	26.9	0.96	0.97	50	50	Tidak



Gambar 10 Respon Arus saat (a) Tidak terjadi Feroresonansi (b) Terjadi Feroresonansi dengan Mengubah Cseries

Overcurrent dan overvoltage terjadi diakibatkan arus yang timbul saat adanya interaksi antara reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif dari induktor nonlinear telah melampaui titik saturasi inti trafo. Dalam hal ini inti trafo memunculkan induktansi nonlinear.

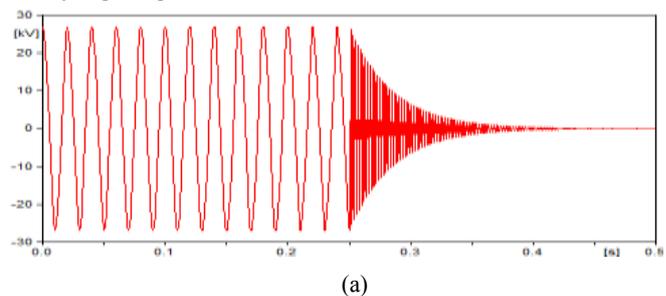
B. Feroresonansi akibat Mengubah Cshunt

Hasil dari simulasi pada rangkaian dengan memvariasikan nilai Cshunt, maka dapat diperoleh hasil pada Tabel 2. Pada Tabel 2 nilai dari tegangan dan arus saat sebelum dan sesudah dilakukan switching. Berdasarkan nilai dari arus dan tegangan puncak sebelum dan sesudah switching dapat ditentukan apakah sistem mengalami feroresonansi atau tidak dan pada nilai kapasitif feroresonansi terjadi.

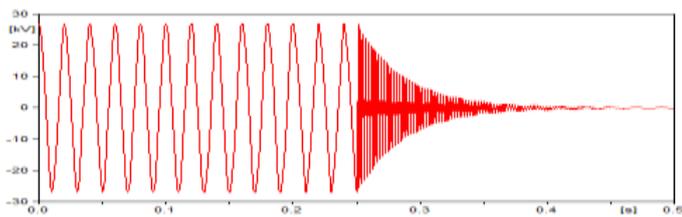
Tabel 2 Efek Pengubahan Cshunt

Cshunt (μF)	Tegangan Puncak Trafo (KV)		Arus Puncak (A)		Frekuensi (Hz)		Fero resonansi
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
0.001	26.94	26.18	0.96	0.085	50	50	Tidak
0.01	26.94	26.68	0.96	0.272	50	50	Tidak
0.1	26.94	26.38	0.96	0.893	50	50	Tidak
1	26.94	26.39	0.96	10.15	50	20	Ya
10	26.94	26.96	0.96	36	50	10	Ya
100	26.94	26.96	0.96	-27.6	50	5	Ya

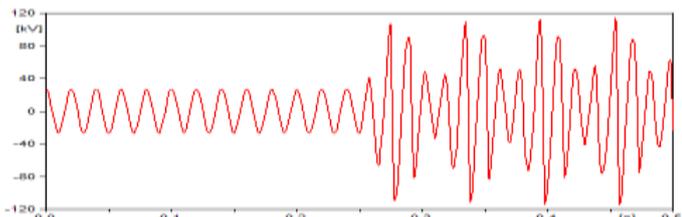
Pada Gambar 11 dengan nilai Cshunt sebesar 0.001 μF tidak terjadi feroresonansi dan pada Gambar 12 dengan nilai Cshunt sebesar 10 μF terjadi feroresonansi. Pada rangkaian dengan mengubah Cshunt, nilai tegangan tidak berubah jauh melainkan terjadinya perbedaan frekuensi setelah switching dengan frekuensi sumber. Semakin besar nilai kapasitor maka akan semakin besar periode untuk satu gelombang. Dengan demikian frekuensi setelah proses switching akan semakin kecil. Untuk nilai arus, terjadi overcurrent dengan nilai sebesar 36 A terjadi peningkatan arus yang sangat besar.



(a)



(a)



(b)

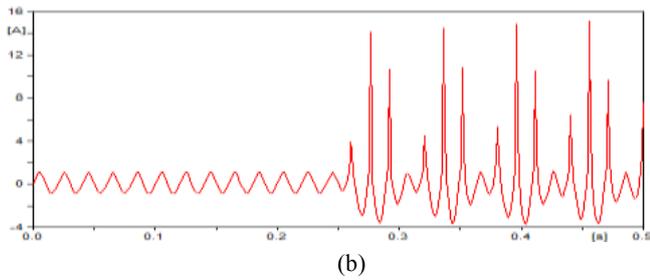
Gambar 9 Respon Tegangan saat (a) Tidak terjadi Feroresonansi (b) Terjadi Feroresonansi dengan Mengubah Cseries

IV. SIMULASI DAN ANALISA DATA

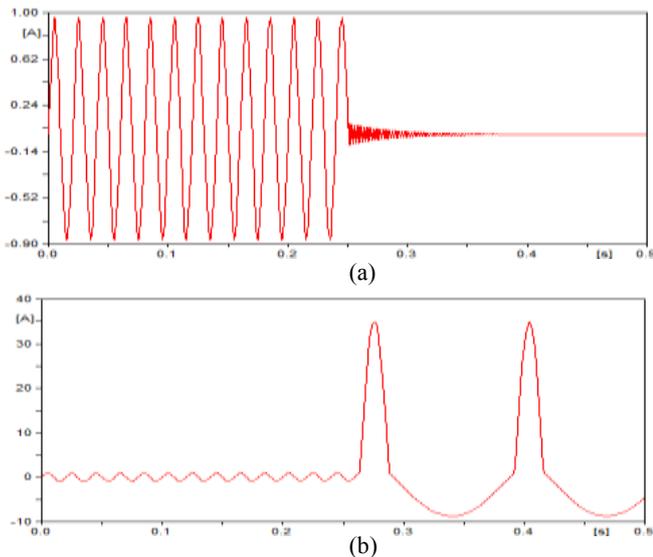
A. Feroresonansi akibat mengubah Cseries

Hasil simulasi rangkaian feroresonansi dengan memvariasikan nilai Cseries, dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 nilai dari tegangan dan arus disimpan saat sebelum dan sesudah dilakukan switching. Berdasarkan nilai dari arus dan tegangan puncak sebelum dan sesudah switching dapat ditentukan apakah sistem mengalami feroresonansi atau tidak dan pada nilai kapasitif feroresonansi terjadi.

Gambar 9a merupakan respon tegangan yang diperoleh dari hasil simulasi pada saat tidak terjadi feroresonansi dengan nilai Cseries sebesar 0.001 μF. Sedangkan untuk Gambar 9b merupakan respon tegangan saat terjadi feroresonansi dengan pemasangan Cseries sebesar 0.1μF. Gambar 10a dan 10b merupakan respon arus hasil dari simulasi. Feroresonansi pada simulasi ini cenderung tergolong dalam tipe fundamental mode.



Gambar 11 Respon Tegangan saat (a) Tidak terjadi Feroresonansi (b) Terjadi Feroresonansi dengan Mengubah Cshunt



Gambar 12 Respon Arus saat (a) Tidak terjadi Feroresonansi (b) Terjadi Feroresonansi dengan Mengubah Cshunt

C. Mitigasi Feroresonansi akibat Mengubah Cseries

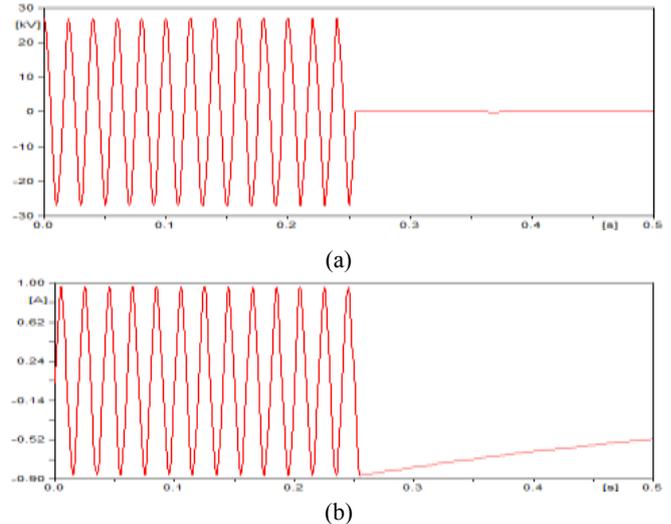
Pada Gambar rangkaian simulasi tersebut merupakan rangkaian yang memunculkan feroresonansi dengan nilai Cseries yang digunakan sebesar 0.1µF. Untuk meredam feroresonansi tersebut dipasang elemen resistor yang memiliki nilai yang tepat untuk dapat meredam feroresonansi tersebut. Pada tabel 4.3 merupakan hasil simulasi mitigasi feroresonansi dengan menggunakan elemen resistor.

Tabel 3 Efek pemasangan Damping Resistor Mengatasi Feroresonansi Akibat CSeries yang divariasikan

Nilai Resistor (Ω)	Tegangan Puncak Trafo (KV)		Arus Puncak Trafo (A)		Feroresonansi
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
50000	26.94	40	0.96	3.2	Ya
100	26.94	0	0.96	0	Tidak
1	26.94	0	0.96	0	Tidak

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh bahwa nilai Resistor yang digunakan dengan nilai kecil dapat meredam feroresonansi akan tetapi dengan pemasangan nilai R yang sangat besar maka dapat memunculkan feroresonansi. Pada Gambar 13 merupakan simulasi rangkaian mitigasi feroresonansi dengan damping resistor sebesar 100Ω dan dapat meredam feroresonansi. Respon arus dan tegangan yang diperoleh dari Gambar 13 menunjukkan bahwa feroresonansi tidak terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa arus yang mengalir menuju trafo ketika switch bekerja dapat

meredam feroresonansi dengan pemasangan resistor pada rangkaian. Hal tersebut dikarenakan arus akan mengalir menuju titik dengan impedansi yang lebih rendah. Respon arus pada Gambar 13 (b) akan naik menjadi 0 A dan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan respon tegangannya. Hasil simulasi rangkaian feroresonansi berupa grafik yang berisikan respon arus dan respon tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13 Respon Tegangan (a) dan Arus (b) untuk Mitigasi Feroresonansi akibat Mengubah Cseries menggunakan Damping Resistor sebesar 100Ω

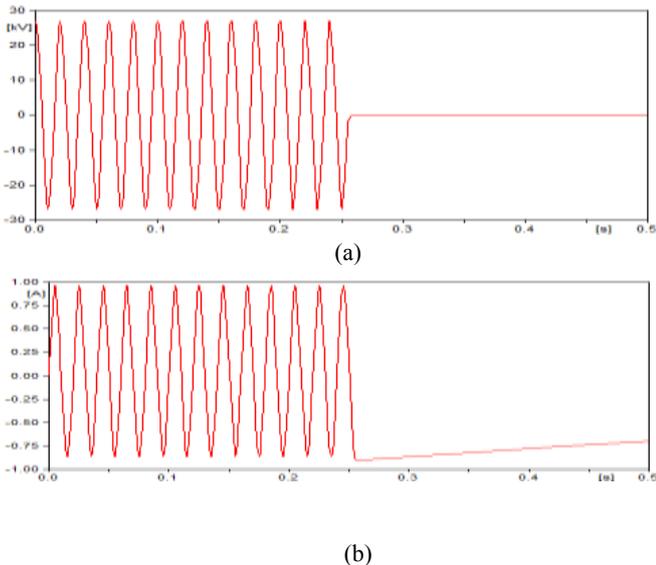
D. Mitigasi Feroresonansi akibat Mengubah Cshunt

Pada tabel 4 merupakan hasil simulasi mitigasi feroresonansi dengan menggunakan elemen resistor. Nilai resistor sebagai damping divariasikan hingga mendapatkan nilai yang tepat untuk meredam feroresonansi. Penggunaan resistor dengan nilai yang tinggi berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 4 tidak dapat digunakan untuk meredam feroresonansi. Semakin tinggi nilai resistansi yang digunakan untuk mendamping maka semakin besar peluang feroresonansi untuk muncul.

Tabel 4 Efek Pemasangan Damping Resistor untuk Mengatasi Feroresonansi akibat Cshunt yang divariasikan

Nilai Resistor (Ω)	Tegangan Puncak Trafo (KV)		Arus Puncak Trafo (A)		Feroresonansi
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
100000	26.94	26.94	0.96	16.8	Ya
1000	26.94	2.03	0.96	-2.45	Ya
100	26.94	0	0.96	0	Tidak
10	26.94	0	0.96	0	Tidak
1	29.64	0	0.96	0	Tidak

Penggunaan resistor dengan nilai yang tepat maka feroresonansi dapat diredam. Pada Gambar 15 merupakan hasil simulasi mitigasi feroresonansi yang berhasil dalam bentuk respon tegangan dan arus. Resistor yang digunakan sebesar 100 Ω. Respon arus yang dihasilkan tidak langsung bernilai 0 melainkan menuju 0. Dengan respon arus dan tegangan dengan menunjuk angka 0 maka feroresonansi sudah berhasil diredam. Untuk Gambar 14b respon arus tidak serta merta akan langsung bernilai nol. Akan tetapi dalam rentang waktu sedikit lebih lama arus pada akhirnya juga akan bernilai nol.

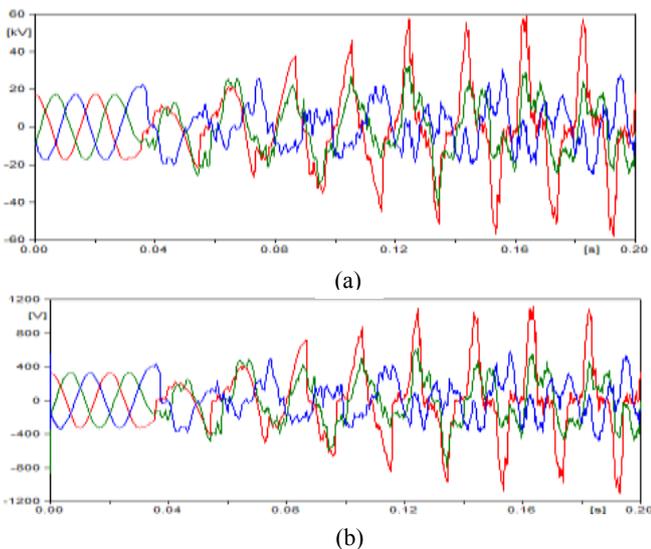


Gambar 14 Respon Tegangan (a) dan Arus (b) untuk Mitigasi Feroresonansi akibat Mengubah CShunt menggunakan Damping Resistor sebesar 100Ω

**E. Feroresonansi akibat Membuka Saluran Trafo**

Untuk memunculkan feroresonansi pada rangkaian dapat dengan membuka salah satu fasa pada trafo. Kondisi awal dari switch adalah tertutup untuk t = 0 sekon dan akan membuka bersamaan pada saat t = 5 sekon. Untuk membangkitkan feroresonansi salah satu saluran fasa trafo dibuka dengan bantuan switch.

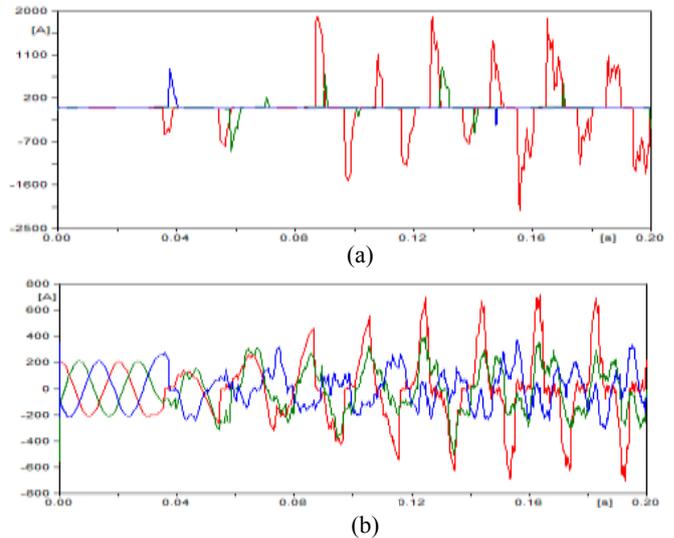
Pada studi ini salah satu fasa trafo dibuka terlebih dahulu dengan switch pada waktu 0.03 sekon. Hasil simulasi akan berupa grafik respon arus dan tegangan yang akan dianalisis untuk menemukan tanda-tanda munculnya feroresonansi. Kemunculan feroresonansi dapat ditandai dengan terjadinya *overvoltage* dan *overcurrent*. Hasil simulasi dengan membuka salah satu saluran fasa maka diperoleh respon arus dan tegangan seperti Gambar 15.



Gambar 15 Respon Tegangan di Sisi (a) Primer (b) Sekuder saat Satu Saluran dibuka

Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat bahwa ketiga saluran trafo baik pada sisi sekunder mengalami gangguan dan terjadi *overvoltage*. Untuk sisi primer tegangan mencapai nilai sebesar 59.3 kV dan pada sisi sekunder mencapai tegangan sampai 1.1 kV. Feroresonansi yang terjadi termasuk dalam golongan *quasi-periodic mode*.

Hasil simulasi berupa respon arus yang mengalir saat salah satu saluran trafo dibuka dapat dilihat pada Gambar 16. respon arus pada Gambar 16 merupakan kurva arus untuk sisi primer dan sekunder. Berdasarkan Gambar 16 respon arus di sisi primer dan sekunder mengalami *overcurrent* pada sisi primer sehingga Ipeak 1878 A dan sekunder adalah 718.42 A.



Gambar 16 Respon Arus di sisi (a) Primer (b) Sekuder saat Satu Saluran Dibuka

**F. Mitigasi Feroresonansi akibat Membuka Saluran Trafo**

Simulasi rangkaian mitigasi feroresonansi menghasilkan respon arus dan tegangan yang menunjukkan feroresonansi dapat dimitigasi dengan pemasangan damping reaktor yang sesuai sehingga dapat meredam feroresonansi. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Pada Tabel 5 akan diperoleh hasil simulasi untuk respon tegangan di sisi primer dan sekunder.

**Tabel 5a** Respon Tegangan Primer Sebagai Hasil Mitigasi Feroresonansi akibat Membuka Satu Saluran

Nilai Damping (Ω)	Tegangan Primer (KV)						Feroresonansi
	sebelum			sesudah			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
50				16.8	20	18.4	Tidak
100	59.3	16.6	30	25.3	24.5	17.6	Tidak
110				28	24.15	18.2	Ya

**Tabel 5b** Respon Tegangan Sekunder Sebagai Hasil Mitigasi Feroresonansi akibat Membuka Satu Saluran

Nilai Damping (Ω)	Tegangan Sekunder (KV)						Feroresonansi
	sebelum			sesudah			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
50				0.26	0.38	0.27	Tidak
100	1.1	0.617	0.585	0.48	0.46	0.33	Tidak
110				0.53	0.48	0.34	Ya

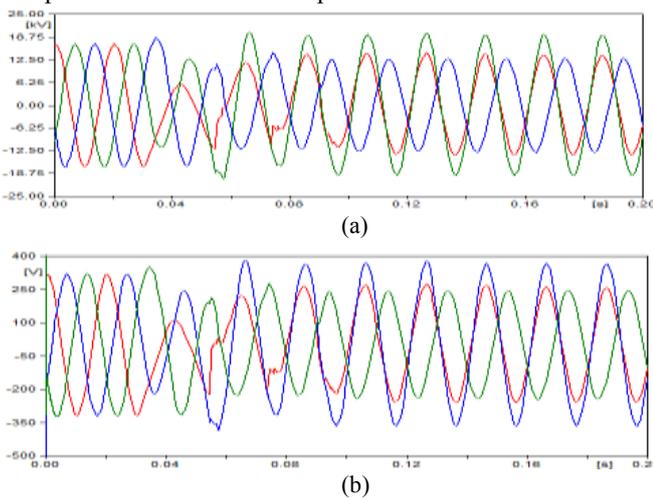
**Tabel 6a** Respon Arus Primer Sebagai Hasil Mitigasi Feroresonansi akibat Membuka Satu Saluran

Nilai Damping ( $\Omega$ )	Arus Primer (A)						Feroresonansi
	sebelum			sesudah			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
50	1878	842	800	-840	404	288	Tidak
100				-1000	-480	415	Tidak
110				1025	-520	450	Ya

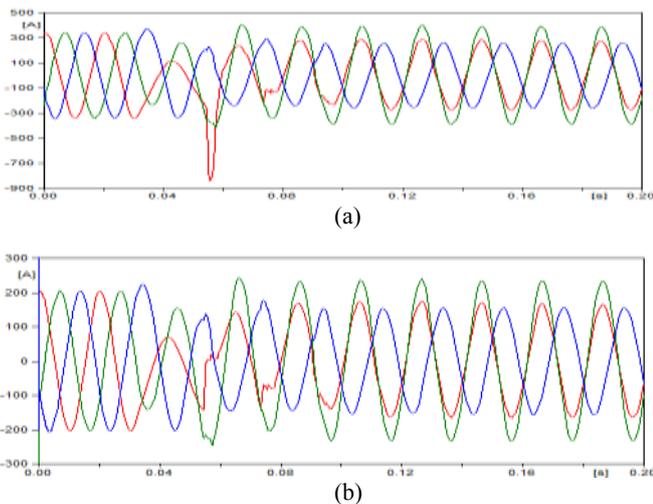
**Tabel 6b** Respon Arus Sekunder Sebagai Hasil Mitigasi Feroresonansi akibat Membuka Dua Saluran

Nilai Damping ( $\Omega$ )	Arus Sekunder (A)						Feroresonansi
	sebelum			sesudah			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
50	718	397	375	168	241	176	Tidak
100				307	295	214	Tidak
110				340	280	220	Ya

Hasil dari simulasi mitigasi feroresonansi berupa tegangan dapat dilihat pada Gambar 18 dimana respon tegangan pada sisi primer dan sekunder tidak menunjukkan *overvoltage*. Meskipun ada perbedaan dengan tegangan sumber asli akan tetapi feroresonansi sudah dapat diredam



**Gambar 17** Respon Tegangan di Sisi (a) Primer (b) Sekuder saat Feroresonansi akibat Satu Saluran Dibuka di Mitigasi



**Gambar 18** Respon Arus di Sisi (a) Primer (b) Sekuder saat Feroresonansi akibat Satu Saluran Dibuka di Mitigasi

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Feroresonansi pada rangkaian pemodelan Gardu Induk dengan mengubah parameter Cseries dan Cshunt cenderung tergolong dalam tipe feroresonansi *fundamental mode*. Sedangkan Feroresonansi pada rangkaian pemodelan simulasi dengan membuka satu saluran fasa mengakibatkan *overvoltage* dan *overcurrent* dengan tipe feroresonansi cenderung ke tipe *quasi-periodic mode*. Sehingga untuk mitigasi pada rangkaian pemodelan feroresonansi di gardu induk menggunakan elemen resistor dengan rentang 1-100  $\Omega$  dan induktor dengan rentang 0,1-1000 mH berhasil meredam feroresonansi. Sama halnya dengan mitigasi feroresonansi akibat pelepasan saluran trafo, nilai damping resistor yang digunakan adalah 50  $\Omega$  untuk feroresonansi akibat membuka 1 saluran trafo dan 70  $\Omega$  untuk kejadian membuka dua saluran. Ketika pemasangan damping reaktor diatas nilai tersebut maka feroresonansi tetap terjadi dan tidak dapat diatasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robert M. Del Vecchio, Bertrand Poulin, pierre T. Feghali, Dilipkumar M. Shah and Rajendra Ahuja "Transformer Design Priciple with application to Core-Form power Transformer", CRC Press, New York, Agustus 2010.
- [2] Arief Dwijayanto, I Made Yulistya Negara dan I Gusti Ngurah Satriyadi, "Analisis Fenomena Ferroresonance pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Akibat Saluran Fasa yang Terputus", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012
- [3] Ferraci, P., "Ferroresonance", Group Schneider: Cahier no 190, pp. 1-28, Maret, 1998.
- [4] Zulkurnain Abdul-Malek, Kamyar Mehranzim, Behnam Salami, Hadi Nabipour Afrouzi dan Saeed Vahabi Mashak, "Investigation of Ferroresonance Mitigation Techniques in Voltage Transformer Using ATP-EMTP Simulation",Universiti Teknologi Malaysia, Johar, 2013.