



TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI PENALAN PARAMETER FSC (*FERRORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT*) UNTUK MENANGGULANGI FERORESONANSI PADA CVT (*CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER*)

**EKO PRADIPTO RAHARJO
NRP 0711134000020**

**Dosen Pembimbing
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TE 141599

***FSC (FERRORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT)
PARAMETERS TUNING FOR FERRORESONANCE
MITIGATION IN CVT (CAPACITIVE VOLTAGE
TRANSFORMER)***

**EKO PRADIPTO RAHARJO
NRP 0711134000020**

Advisor

**Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Penalaan Parameter FSC (*Ferroresonance Suppression Circuit*) untuk Menanggulangi Ferroresonansi Pada CVT (*Capacitive Voltage Transformer*)**” 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, Januari 2018

Eko Pradipto raharjo
NRP. 0711134000020

**STUDI PENALAN PARAMETER FSC
(FERRORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT)
UNTUK MENANGGULANGI FERRORESONANSI
PADA CVT**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang 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.P.Sc. IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.
NIP. 197007121998021001 NIP. 197301232002121001



STUDI PENALAAN PARAMETER FSC (*FERRORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT*) UNTUK MENANGGULANGI FERORESONANSI PADA CVT (*CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER*)

Nama : Eko Pradipto Raharjo
Pembimbing I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Pembimbing II : IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik yang baik tentu dipengaruhi oleh peralatan-peralatan yang baik juga. Peralatan yang vital di dalam sistem tenaga listrik salah satunya yaitu CVT (*Capacitive Voltage Transformer*). Pada CVT terdapat komponen kapasitor dan induktor non-linier sehingga mengakibatkan fenomena feroresonansi. Fenomena feroresonansi dapat mengakibatkan gangguan seperti tegangan lebih dan arus lebih. Pada studi ini digunakan FSC (*Ferroresonance Suppression Circuit*) aktif untuk mengatasi masalah tersebut. Aplikasi yang digunakan untuk membantu penelitian ini yaitu ATPDraw. Berdasarkan hasil simulasi dan analisa ditetapkan nilai R_f sebesar 3,17 Ohm, L_f sebesar 0,30299 H, dan C_f sebesar 0,005 μ F yang digunakan untuk pengujian beban pada CVT. Pada penelitian ini dilakukan analisa dengan beban R saja dan R dengan L yang dibuat berbeda-beda nilainya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan lebih dan arus lebih akibat feroresonansi dapat diatasi dengan FSC aktif ini.

Kata kunci : Feroresonansi, CVT (*Capacitive Voltage Transformer*), FSC (*Ferroresonance Suppression Circuit*) aktif

Halaman ini sengaja dikosongkan

***FSC (FERRORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT)
PARAMETERS TUNING FERRORESONANCE
MITIGATION IN CVT (CAPACITIVE VOLTAGE
TRANSFORMER)***

Name : Eko Pradipto Raharjo
1st Advisor : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST, M.Sc.
2nd Advisor : IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.

ABSTRACT

A good electric power system is surely affected by good equipment as well. One of vital equipment in the power system is CVT (Capacitive Voltage Transformer). In the CVT there are components of capacitors and non-linear inductors resulting in phenomena of ferroresonance. The phenomenon of ferroresonance may lead to interference such as overvoltage and overcurrent. In this study FSC (Ferroresonance Suppression Circuit) active is used to solve the problem. The application used to help this research is ATPDraw. Based on simulation and analysis result set R_f value equal to 3,17 Ohm, L_f equal 0,30299 H, and C_f equal to 0,005 μ F used for load test at CVT. In this research analyzed was done by R load only and by R with L made with different values. The simulation results show that the overvoltage and overcurrent due to ferroresonance can be overcome by this FSC active.

Keywords : Ferroresonance, CVT (Capacitive Voltage Transformer), FSC (Ferroresonance Suppression Circuit) active

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Penulis bersyukur dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“STUDI PENALAAN PARAMETER FSC (*FERRORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT*) UNTUK MENANGGULANGI FERRORESONANSI PADA CVT”** ini dengan tepat waktu.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini dapat selesai karena tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak I Gusti Ngurah Satryadi Hernanda, atas segala ilmu dan waktunya dalam membimbing penulis sampai Tugas Akhir ini dapat selesai.
2. Ibu, bapak, adik serta keluarga penulis yang selalu memberikan doa, nasehat dan semangat yang tiada henti-hentinya kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
3. Keluarga AAF (Asal Asalan Foundation) tercinta, Papong, Handi, Adhit, Azmi, Fikri, Ayak, Alifia, Riska, Vickie yang selalu menemani penulis disaat senang maupun duka ketika di Surabaya
4. Teman-teman kontrakan The Cave House Blok D-32, “Simbah” Miftah, “Bayek” Pranawa, Irawan, Ahmad, dan Mbodo yang selalu menyemangati dan mengisi hari-hari penulis hingga tugas akhir ini selesai.
5. Teman-teman UKM IBC (ITS Badminton Community) dan warga GOR Bulutangkis ITS yang menyemangati dan menghibur penulis ketika selama penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman KMKS yang sudah menjadi keluarga kedua yang selalu menjadikan tempat “ngrepoti dan direpoti” selama di Surabaya.
7. Teman-teman GOD BLESS YOU 13 yang selalu memberikan hiburan, guyonan maupun *grenengan* selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro-FTE, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

9. Teman–teman Elektro ITS Angkatan 2013 yang membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman Tugas Akhir topik Tegangan Tinggi yang saling membantu dan menyemangati demi tercapainya kelulusan bersama.

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

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 SistematikaPenulisan	2
BAB II PERALATAN TEGANGAN TINGGI DAN PETIR	
2.1 Sistem Tenaga Listrik	3
2.2 Saluran Transmisi	4
2.3 Transformator Tegangan.....	5
2.4 CVT (<i>Capacitive Voltage Transformer</i>)	7
2.5 Feroresonansi	10
2.6 <i>Ferroresonance Suppression Circuit</i>	12
2.7 FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>).....	14
BAB III PEMODELAN FERORESONANSI, CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER, DAN FERORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT	
3.1 <i>Capacitive Voltage Transformer</i>	16
3.2 <i>Ferroresonance Suppression Circuit (FSC)</i>	18
BAB IV ANALISA HASIL SIMULASI FERORESONANSI PADA CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER	
4.1 Pemodelan Rangkaian Feroresonansi	21
4.2 Analisa Hasil Simulasi	22
4.2.1 Keadaan Normal	22
4.2.2 Analisa Parameter <i>Ferroresonance Suppression Circuit</i>	23

4.2.2.1	Analisa frekuensi di dalam feroresonansi dengan FFT	24
4.2.2.2	Analisa nilai parameter FSC.....	27
4.2.3	Analisa Tegangan	30
4.2.3.1	Studi Beban R.....	31
4.2.3.2	Studi Beban R dan L	35
4.2.4	Analisa Arus	39
4.2.4.1	Studi Beban R.....	39
4.2.4.2	Studi Beban R dan L	42

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA	49
-----------------------------	----

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1	Sistem tenaga listrik 3
Gambar 2.2	Prinsip Kerja Trafo Tegangan..... 6
Gambar 2.3	Rangkaian CVT 7
Gambar 2.4	Konstruksi CVT..... 10
Gambar 2.5	Osilasi yang tidak terhubung rangkaian ferroresonansi seri..... 11
Gambar 2.6	Ferroresonansi <i>Fundamental Mode</i> 11
Gambar 2.7	Ferroresonansi <i>Sub-harmonic Mode</i> 12
Gambar 2.8	Ferroresonansi <i>Quasi-periodic Mode</i> 12
Gambar 2.9	Ferroresonansi <i>Chaotic Mode</i> 12
Gambar 2.10	Rangkaian <i>Fast saturation reactor type</i> 13
Gambar 2.11	Rangkaian <i>Resonance type</i> 13
Gambar 2.12	Rangkaian <i>Electronic type</i> 14
Gambar 3.1	Gardu Induk..... 15
Gambar 3.2	Single line diagram gardu induk 150 kV 16
Gambar 3.3	Rangkaian ekivalen CVT..... 17
Gambar 3.4	Rangkaian Skematik CVT 17
Gambar 3.5	Kurva magnetisasi pada CVT 18
Gambar 3.6	Rangkaian FSC Aktif 19
Gambar 4.1	Rangkaian Simulasi 21
Gambar 4.2	Tegangan sisi primer CVT saat keadaan normal 23
Gambar 4.3	Tegangan sisi sekunder CVT saat keadaan normal 23
Gambar 4.4	Tegangan sisi sekunder CVT tanpa <i>ferroresonance suppression circuit</i> 24
Gambar 4.5	Pemotongan sinyal ketika terjadi feroresonansi..... 25
Gambar 4.6	<i>Script</i> FFT pada MATLAB..... 25
Gambar 4.7	Grafik hasil FFT ketika detik 0,1 hingga 0,2 26
Gambar 4.8	Grafik hasil FFT ketika detik 0,2 hingga 0,5 26
Gambar 4.9	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder pakai FSC yang pertama (hijau)... 29
Gambar 4.10	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder pakai FSC yang kedua (hijau) 29
Gambar 4.11	Grafik impedansi <i>scanning</i> terhadap tegangan sekunder dengan FSC 30

Gambar 4.12	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 75 Ohm.....	31
Gambar 4.13	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 100 Ohm.....	31
Gambar 4.14	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 250 Ohm.....	32
Gambar 4.15	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 500 Ohm.....	32
Gambar 4.16	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 750 Ohm.....	32
Gambar 4.17	Grafik tegangan primer terhadap R_b	34
Gambar 4.18	Grafik tegangan sekunder terhadap R_b	34
Gambar 4.19	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 10 mH.....	35
Gambar 4.20	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 50 mH.....	35
Gambar 4.21	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 100 mH.....	36
Gambar 4.22	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 150 mH.....	36
Gambar 4.23	Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 200 mH.....	36
Gambar 4.24	Grafik tegangan primer terhadap L_b	38
Gambar 4.25	Grafik tegangan sekunder terhadap L_b	38
Gambar 4.26	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 75 Ohm.....	39
Gambar 4.27	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b	

	bernilai 100 Ohm.....	39
Gambar 4.23	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 250 Ohm.....	40
Gambar 4.24	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 500 Ohm.....	40
Gambar 4.25	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 750 Ohm.....	40
Gambar 4.26	Grafik arus primer terhadap R_b	42
Gambar 4.27	Grafik arus sekunder terhadap R_b	42
Gambar 4.28	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 10 mH.....	43
Gambar 4.29	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 50 mH.....	43
Gambar 4.30	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 100 mH.....	43
Gambar 4.31	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 150 mH.....	44
Gambar 4.32	Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 200 mH.....	44
Gambar 4.33	Grafik arus primer terhadap R_b	45
Gambar 4.34	Grafik arus sekunder terhadap R_b	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1 Paramater CVT.....	17
Tabel 4.1 Impedansi terhadap tegangan sekunder dengan FSC	30
Tabel 4.2 Pengaruh R_b terhadap tegangan puncak primer	33
Tabel 4.3 Pengaruh R_b terhadap tegangan puncak sekunder	33
Tabel 4.4 Pengaruh L_b terhadap tegangan puncak primer	37
Tabel 4.5 Pengaruh L_b terhadap tegangan puncak sekunder	37
Tabel 4.6 Pengaruh R_b terhadap arus puncak primer.....	41
Tabel 4.7 Pengaruh R_b terhadap arus puncak sekunder	41
Tabel 4.8 Pengaruh L_b terhadap arus puncak primer	44
Tabel 4.9 Pengaruh L_b terhadap arus puncak sekunder	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1 Paramater CVT.....	17
Tabel 4.1 Impedansi terhadap tegangan sekunder dengan FSC	30
Tabel 4.2 Pengaruh R_b terhadap tegangan puncak primer	33
Tabel 4.3 Pengaruh R_b terhadap tegangan puncak sekunder	33
Tabel 4.4 Pengaruh L_b terhadap tegangan puncak primer	37
Tabel 4.5 Pengaruh L_b terhadap tegangan puncak sekunder	37
Tabel 4.6 Pengaruh R_b terhadap arus puncak primer.....	41
Tabel 4.7 Pengaruh R_b terhadap arus puncak sekunder.....	41
Tabel 4.8 Pengaruh L_b terhadap arus puncak primer	44
Tabel 4.9 Pengaruh L_b terhadap arus puncak sekunder	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya populasi manusia, maka berbagai kebutuhan dasar meningkat tajam, salah satunya yaitu listrik. Di era digital ini, listrik tentu dibutuhkan setiap orang dan tidak mungkin orang bisa hidup tanpa adanya listrik. Kebutuhan akan energi listrik seakan tidak ada habisnya, untuk itu sistem tenaga yang baik sangat diperlukan. Sistem tenaga yang baik tentu dipengaruhi oleh sistem transmisi yang baik pula, sehingga perlu diperhatikan juga peralatan-peralatan yang mendukung kinerja dari sistem transmisi. Peralatan yang vital di dalam sistem transmisi yaitu Transformator. Ibarat manusia, transformator adalah sebuah jantungnya sehingga apabila terdapat masalah maka akan berpengaruh terhadap sistem tenaga listrik. Transformator sendiri mempunyai berbagai jenis salah satunya CVT (*Capacitive Voltage Transformer*).

Pada umumnya, CVT digunakan pada tegangan di atas 110 kV yaitu untuk mengubah tegangan dari tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan rendah. Selain itu, CVT juga digunakan sebagai alat ukur tegangan dan dapat dikatakan ekonomis karena dapat digunakan sebagai pengirim sinyal berupa sinyal komunikasi data [1]. Akan tetapi pada CVT ini dapat terjadi berbagai gangguan, salah satunya yaitu Feroresonansi. Feroresonansi merupakan fenomena resonansi non-linear yang mempunyai dampak terhadap sistem tenaga listrik [2]. Hal ini disebabkan karena perubahan secara mendadak respon *steady state* keadaan normal menuju respon *steady state* keadaan feroresonansi yang dapat diketahui dengan meningkatnya harmonisa dan terjadinya *overvoltage*. Feroresonansi ini dapat membahayakan peralatan listrik seperti pengurangan umur peralatan, *overvoltage*, lightning, maupun peningkatan atau penurunan tegangan trafo. Maka dari itu perlu diperhatikan dan dilakukan pengecekan secara berkala agar tidak mengganggu sistem tenaga listrik [3].

Berdasarkan permasalahan di atas, maka digunakan FSC (*Ferroresonance Suppression Circuit*) yang dipasang pada CVT sebagai solusi untuk meredam terjadi fenomena Feroresonansi. Pada penelitian ini akan dilakukan penalaan parameter yang terdapat pada FSC untuk

didapatkan mengatasi tegangan tinggi dan arus tinggi akibat fenomena feroresonansi dengan menggunakan aplikasi ATPDraw.

1.2 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan masing-masing bab diuraikan sebagai berikut :

BAB 1 merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, serta manfaat dan relevansi

BAB 2 berisi teori penunjang yang membahas tentang *capacitive voltage tranformer*, feroresonansi dan *ferroresonance supression circuit*.

BAB 3 berisi tentang pemodelan feroresonansi, *capacitive voltage tranformer*, dan *ferroresonance supression circuit*.

BAB 4 berisi tentang hasil dan analisa data dari simulasi yang telah dilakukan.

BAB 5 berisi tentang kesimpulan dan saran-saran dari penelitian yang telah dilakukan.

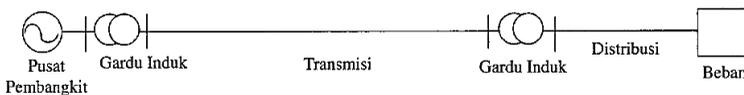
BAB II

CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER, FERORESONANSI DAN FERORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT

2.1 Sistem Tenaga Listrik[1]

Pada era modern ini, listrik berperan penting dalam segala aspek. Hal tersebut tentu dikarenakan semakin berkembangnya teknologi saat ini sehingga saluran tenaga listrik harus dapat bekerja dengan normal dan tanpa terjadi banyak gangguan. Di dalam sistem tenaga listrik sendiri terdapat 3 bagian utama yang saling terkoneksi antara lain yaitu bagian pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi. Listrik dihasilkan oleh pembangkit kemudian disalurkan melalui saluran transmisi untuk menjangkau daerah-daerah yang jauh dan disalurkan ke saluran distribusi untuk dapat digunakan untuk konsumen.

Pada awalnya, listrik dihasilkan oleh pusat pembangkit kemudian dinaikan *level* tegangannya menggunakan transformator *step-up* untuk disalurkan melalui saluran transmisi untuk disalurkan menuju daerah-daerah yang jauh dari pembangkit. Di Indonesia saluran transmisi yang digunakan yaitu berkisar pada tegangan 500 kV atau 150 kV. Setelah dari saluran transmisi tersebut kemudian diterima oleh gardu induk untuk diturunkan *level* tegangannya oleh transformator *step-down*. Dari gardu induk tersebut kemudian listrik dialirkan menuju saluran distribusi. Saluran distribusi yang digunakan berkisar pada tegangan 20 kV. Dari saluran distribusi tersebut akan mengalirkan listrik ke rumah-rumah, industri maupun konsumen lainnya. Untuk rumah-rumah biasanya menggunakan tegangan 380/220 V. Skema dari Sistem Tenaga Listrik dapat digambarkan seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Transmisi[1]

Sistem Transmisi merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang membawa listrik melalui saluran tegangan tinggi maupun saluran tegangan ekstra tinggi dari pusat pembangkit menuju sistem distribusi. Adanya peningkatan *level* tegangan pada sistem transmisi sangatlah penting karena mempunyai berbagai keuntungan, antara lain yaitu:

1. Ketika penyaluran daya sama maka arus yang dialirkan akan berkurang, sehingga penggunaan kawat penghantar yang berbahan tembaga akan berkurang seiring dengan bertambahnya tegangan transmisi.
2. Besar luas penampang konduktor berkurang karena struktur penyangga konduktor menjadi lebih kecil.
3. *Drop* tegangan menjadi lebih kecil karena arus yang mengalir pada saluran transmisi juga lebih kecil.

Hal ini dapat dijelaskan dengan persamaan 2.1 bahwa sistem transmisi mempunyai *drop* tegangan yang rendah karena arus yang mengalir kecil dan tegangan yang digunakan dinaikkan menjadi lebih tinggi.

$$V = I.R \quad (2.1)$$

Dimana:

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

Ketika nilai tegangan semakin besar dengan nilai resistansi tetap maka arus akan menjadi semakin kecil. Nilai arus yang kecil ini juga mempunyai dampak terhadap rugi-rugi yang ditimbulkan oleh sistem transmisi seperti pada persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$\Delta P_t = 3I^2R \quad (2.2)$$

Keterangan:

ΔP = Rugi-rugi daya transmisi AC tiga fasa (Watt)

I = Arus pada kawat transmisi (A)
 R = Resistansi kawat transmisi masing-masing fasa (Ohm)

Diabaikannya arus kapasitif pada transmisi menjadikan arus pada saluran transmisi besarnya sama dengan arus di ujung penerima transmisi. Jika P sama dengan daya beban pada ujung penerima transmisi (Watt), V_r sama dengan tegangan fasa ke fasa ujung penerima transmisi (Volt) dan $\cos \varphi$ sama dengan faktor daya beban, maka arus pada kawat transmisi adalah:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V_r \cos \varphi} \quad (2.3)$$

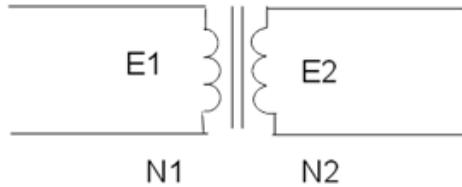
Jika persamaan 2.3 disubstitusikan ke dalam persamaan 2.2, maka diperoleh:

$$\Delta P_t = \frac{P^2 R}{V_r^2 \cos^2 \varphi} \quad (2.4)$$

Rugi-rugi transmisi sebanding dengan resistansi konduktor dan berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan transmisi, sehingga pengurangan rugi-rugi yang diperoleh dari kenaikan tegangan transmisi jauh lebih besar daripada pengurangan rugi-rugi daya dari penurunan resistansi konduktor. Maka rugi-rugi transmisi dikurangi dengan mempertinggi tegangan transmisi sehingga hal tersebut yang membuat tegangan transmisi sistem tenaga listrik semakin tinggi.

2.3 Transformator Tegangan[1]

Transformator tegangan adalah peralatan listrik yang digunakan untuk mengubah tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur dan relai.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Trafo Tegangan

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Dimana:

a; perbandingan /rasio transformasi

$$N_1 > N_2$$

N_1 = Jumlah belitan primer

N_2 = Jumlah belitan sekunder

E_1 = Tegangan primer

E_2 = Tegangan sekunder

Trafo tegangan mempunyai prinsip kerja yang sama dengan trafo tenaga yaitu ratio tegangan sisi primer dibagi tegangan sisi sekunder sama dengan ratio jumlah belitan primer dibagi jumlah belitan sekunder, tetapi rancangan Trafo tegangan berbeda yaitu :

- Kapasitasnya kecil (10 – 150 VA), karena digunakan hanya pada alat-alat ukur, relai dan peralatan indikasi yang konsumsi dayanya kecil.
- Memiliki tingkat ketelitian yang tinggi.
- Salah satu ujung terminal tegangan tingginya selalu ditanahkan

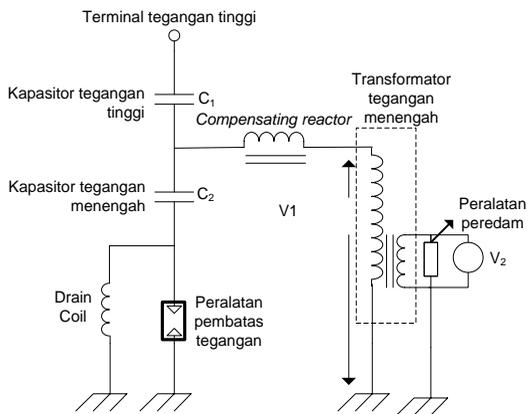
Trafo tegangan sendiri mempunyai banyak fungsi untuk sistem tenaga listrik, antara lain yaitu:

- Mengubah *level* tegangan sistem dari yang tinggi ke *level* tegangan yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi maupun pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primernya.

- Sebagai standarisasi *level* tegangan sekunder untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
- Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (0,1; 0,2; 0,5;1;3).

2.4 CVT (*Capacitive Voltage Transformer*)[2]

CVT (*Capacitive Voltage Transformer*) yaitu jenis trafo tegangan yang mempunyai fungsi utama sebagai pengukuran tegangan untuk level tegangan di atas 110 kV. Selain untuk pengukuran tegangan, CVT juga mempunyai fungsi antara lain sebagai pencatu tegangan ke relai elektronik, untuk pengukuran energi pada konsumen industri maupun untuk pengiriman sinyal melalui konduktor transmisi. Pada dasarnya transformator ini dikombinasikan dengan transformator tegangan induktif agar dapat meminimalkan tegangan yang masuk pada CVT, akan tetapi karena dinilai tidak ekonomis maka transformator tegangan ini menggunakan kapasitor pembagi tegangan pada sisi primer.



Gambar 2.3 Rangkaian CVT [2]

Pada rangkaian CVT secara umum terdiri dari beberapa komponen utama berikut.

- a. Kapasitor kopling (C_1 dan C_2)

- b. *Compensating Reactor (L)*
- c. Transformator *step-down*
- d. Rangkaian penekan feroresonansi

Compensating reactor berfungsi untuk membatalkan reaktansi dari kapasitor kopling pada frekuensi sistem yang digunakan mencegah pergeseran fasa antara tegangan primer dan sekunder CVT pada frekuensi sistem. Fenomena yang dapat terjadi CVT salah satunya adalah feroresonansi. Feroresonansi ditimbulkan oleh sifat non-linier pada inti besi yang terdapat pada *Compensating reactor* dan transformator *step-down* pada CVT. Oleh karena itu setiap CVT biasanya terdapat rangkaian peredam. Rangkaian ini terletak pada sisi sekunder transformator *step-down* dan digunakan untuk mencegah bahaya atau kerusakan yang ditimbulkan oleh tegangan lebih karena feroresonansi. Selain itu terdapat 2 kapasitor yang diseri atau yang disebut Kapasitor kopling yang berfungsi sebagai pembagi tegangan yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari *level* tegangan tinggi menjadi *level* tegangan menengah (5 sampai 15 kV). Kapasitansi C_1 dan C_2 dirancang sedemikian rupa, sehingga tegangan pada kapasitor C_2 diperoleh dalam orde puluhan kilovolt, umumnya 5, 10, 15 dan 20 kV. Diantara kapasitor C_2 dengan beban diselipkan suatu trafo tegangan magnetik yang disebut trafo penengah (*intermediate transformer*). Terminal kapasitor C_2 dihubungkan ke belitan primer trafo penengah, sehingga tegangan primer trafo penengah sama dengan tegangan pada terminal kapasitor C_2 . Tegangan primer trafo penengah (dalam orde puluhan ribu Volt) diturunkan oleh trafo penengah menjadi ratusan Volt. Jika terjadi tegangan lebih maka tegangan pada kapasitor C_2 akan ikut naik dan dapat merusak kapasitor tersebut. Pada sisi sekunder dipasang juga peralatan peredam yang berguna untuk mencegah adanya efek dari feroresonansi.

Jika rugi-rugi pada trafo penengah diabaikan dan impedansi bebannya tidak terhingga (terminal belitan sekunder terbuka), maka hubungan tegangan V_n , V_1 , dan V_2 dinyatakan sebagai:

$$\frac{V_n}{V_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = a_c \quad (2.5)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = a_t \quad (2.6)$$

$$\frac{V_n}{V_2} = a_c \times a_t = a_p \quad (2.7)$$

Dalam hal ini : a_c = faktor pembagi tegangan kapasitor
 a_t = faktor transformasi trafo penengah
 a_p = faktor transformasi sistem pengukuran

apabila rugi-rugi pada trafo penengah dan impedansi beban diperhitungkan, maka faktor pembagi tegangan kapasitor dan faktor transformasi sistem pengukuran juga akan ikut berubah. Untuk mengkompensasi perubahan tersebut, maka diantara kapasitor C_2 dengan trafo penengah disisipkan suatu induktor kompensasi (L).

Apabila Z_b adalah impedansi ekuivalen gabungan trafo penengah dengan beban dilihat dari sisi tegangan tinggi, maka hubungan tegangan jaringan dengan tegangan primer trafo penengah akan menjadi:

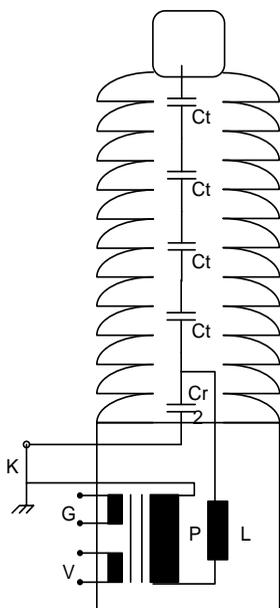
$$\frac{V_n}{V_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} + \frac{1 - \omega^2 L(C_1 + C_2)}{j\omega C_1 Z_b} \quad (2.8)$$

Bila nilai L , C_1 dan C_2 dipilih sedemikian sehingga memenuhi hubungan dibawah ini:

$$\omega^2 L(C_1 + C_2) = 1 \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan 2.9 dapat dinyatakan bahwa perbandingan V_n dengan V_1 adalah tetap, sehingga nilai faktor pembagi tegangan kapasitor tidak dipengaruhi Impedansi beban Z_b .

Konstruksi dari trafo tegangan kapasitif pada umumnya hanya dibuat dalam bentuk trafo kutub tunggal karena terdapat pembagi kapasitif. Komponen dari elemen-elemen kapasitor dihubungkan secara seri dan disusun pada tabung porselen yang ramping. Induktor kompensasi dan trafo penengah diletakkan di dalam bejana logam. Diluar bejana disediakan terminal untuk peralatan komunikasi (K) yang dapat dibumikan apabila tidak dipakai. Agar dapat memberikan hasil yang efektif sebagai kopling kapasitor, maka kapasitansi ekuivalen C_1 dan C_2 harus memiliki nilai minimum 4400 pF.



Keterangan

Ct = Kapasitor tegangan tinggi

Cr = Kapasitor tegangan rendah

L = Induktor kompensasi

P = Kumbaran Primer

V = Kumbaran sekunder untuk pengukuran

G = Kumbaran sekunder untuk relai arus tanah

K = Terminal untuk alat komunikasi

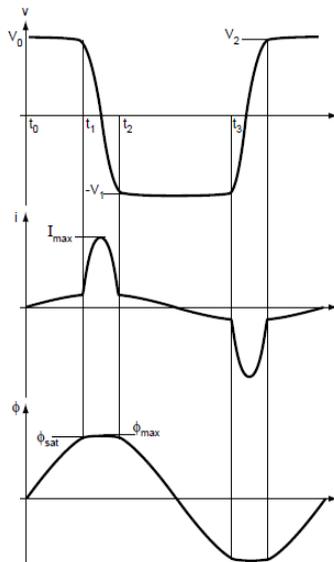
Gambar 2.4 Konstruksi CVT

2.5 Feroresonansi

Feroresonansi adalah fenomena resonansi *non-linear* yang mempunyai dampak terhadap peralalatan listrik yang disebabkan karena perubahan secara mendadak respon *steady state* keadaan normal menuju respon *steady state* keadaan feroresonansi dengan meningkatnya harmonisa. Fenomena ini dapat membahayakan peralatan listrik seperti pengurangan umur peralatan, *overvoltage*, *transient*, lightning, maupun peningkatan atau penurunan tegangan trafo [3].

Perbedaan besar antara rangkaian feroresonansi dengan rangkaian resonansi linear adalah untuk ω yang diberikan:

1. Kemungkinan resonansi dalam berbagai nilai C secara luas.
2. Kemungkinan berbeda antara frekuensi tegangan dan arus gelombang yang berasal dari sumber tegangan sinusoidal.
3. Terdapat beberapa respon ketika kondisi stabil *steady state* untuk konfigurasi dan parameter yang diberikan.

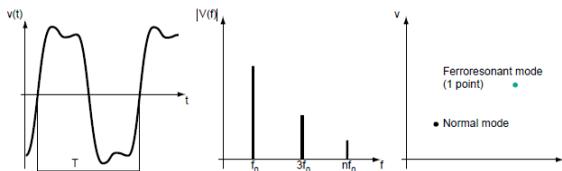


Gambar 2.5 Osilasi yang tidak terhubung rangkaian ferroresonansi seri

Ferroresonansi dibagi menjadi 4 tipe, yaitu:

1. *Fundamental Mode*

Tipe ini mempunyai tegangan dan arus periodik dengan periode T yang sama dengan periode sistem, dan dapat mengandung harmonisa dengan tingkat yang berbeda-beda.

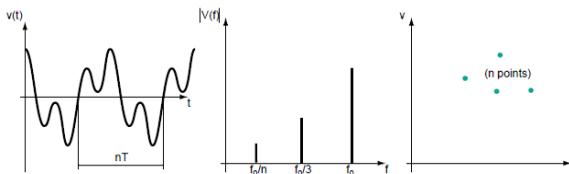


Gambar 2.6 Ferroresonansi *Fundamental Mode* [3]

2. *Sub-harmonic Mode*

Pada tipe ini sinyal periodik dengan periode nT merupakan kelipatan dari periode sumber. Keadaan ini dikenal sebagai *subharmonic* n atau

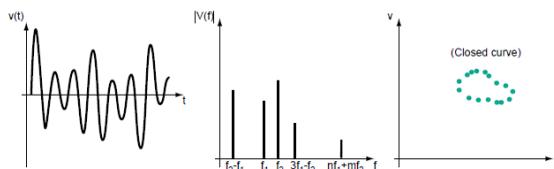
harmonic $1/n$. Keadaan Ferroresonansi *Sub-harmonic* biasanya berorde ganjil.



Gambar 2.7. Ferroresonansi *Sub-harmonic Mode* [3]

3. *Quasi-periodic Mode*

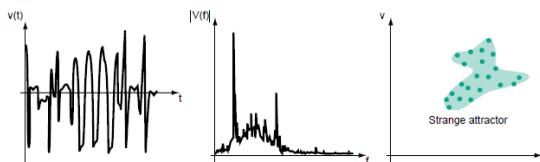
Tipe ini adalah sinyalnya tidak periodik, dan juga disebut Pseudo-periodic. Gambar stroboskopiknya membentuk seperti kurva yang tertutup.



Gambar 2.8 Ferroresonansi *Quasi-periodic Mode* [3]

4. *Chaotic Mode*

Pada tipe ini hubungan spektrumnya saling menyambung dan tidak putus untuk setiap frekuensi. Gambar stroboskopiknya membentuk sesuatu yang aneh atau tidak teratur, sehingga lebih dikenal sebagai *strange attractor*.



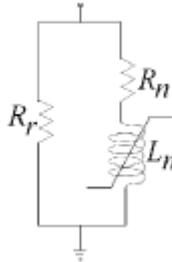
Gambar 2.9 Ferroresonansi *Chaotic Mode* [3]

2.6 FSC (*Ferroresonance Suppression Circuit*)[5]

Di dalam FSC (*Ferroresonance Suppression Circuit*) terdapat 3 jenis peredaman antara lain yaitu:

1. *Fast saturation reactor type*

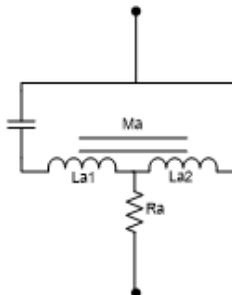
Rangkaian ini disebut juga dengan FSC pasif. Konsepnya dengan menambah tegangan beban sensitif. Jika tegangan naik di atas normal, maka reaktor saturabel akan efektif dengan menambahkan beban lebih. reaktor saturabel L_n diberikan 150 % dari tegangan nominal.



Gambar 2.10 Rangkaian *Fast saturation reactor type* [5]

2. *Resonance type*

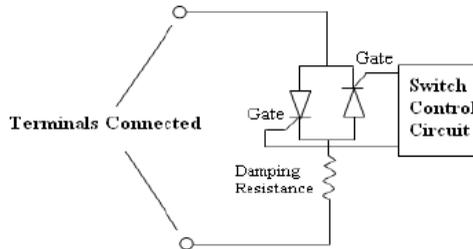
Rangkaian ini disebut juga dengan FSC aktif. Rangkaian ini merupakan filter RLC seri-paralel yang terdiri dari dua induktor yang saling digabungkan satu sama lain, kapasitor dan resistor diatur menjadi frekuensi dasar dengan Q factor yang tinggi. Sehingga frekuensi di sekitar frekuensi dasar bisa lewat. Redaman resistor digunakan untuk menghaluskan osilasi ferresonansi.



Gambar 2.11 Rangkaian *Resonance type* [5]

3. *Electronic type*

Pada tipe ini, dengan menggunakan perangkat elektronik, resistansi redaman berpindah ke sisi sekunder dari trafo selama osilasi yang berbahaya. Rangkaian ini menggunakan thyristor bolak balik yang diseri dengan resistansi redaman.



Gambar 2.12 Rangkaian *Electronic type*[5]

2.7 **FFT (Fast Fourier Transform)[5]**

FFT (Fast Fourier Transform) yaitu sebuah metode yang digunakan untuk menghitung koefisien dari Fourier diskrit ke suatu sekuen yang terbatas dari kumpulan data. FFT ini pada umumnya digunakan untuk mencari frekuensi dominan dari sebuah kumpulan frekuensi yang berbeda. Transformasi Fourier mempunyai bentuk transformasi untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi seperti berikut:

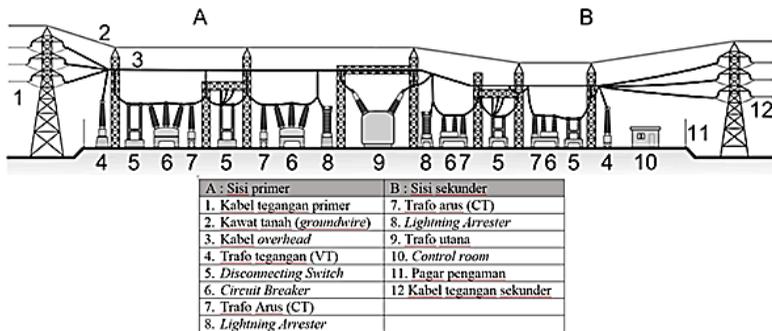
$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.10)$$

FFT pada pengoperasiannya dapat diubah menjadi 2 bentuk yaitu Frekuensi dan Periode. Frekuensi merupakan banyaknya gelombang dalam 1 detik. Maka dari itu waktu akan menjadi Hertz hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Periode merupakan waktu yang dibutuhkan untuk sebuah gelombang mencapai 1 gelombang penuh.

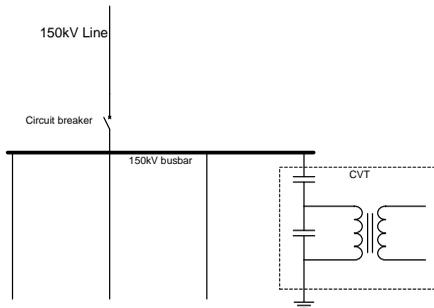
BAB III

PEMODELAN FERORESONANSI, *CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER*, DAN *FERORESONANCE SUPPRESSION CIRCUIT*

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari sistem transmisi dan sistem distribusi. Di dalam pengoperasian sistem tersebut membutuhkan sebuah gardu induk yang berisikan peralatan-peralatan listrik. *Capacitive Voltage Transformer* (CVT) adalah salah satu yang terdapat di dalamnya. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi feroresonansi yang terdapat pada CVT, kemudian dilakukan analisis terhadap gejala feroresonansi tersebut. Analisis yang dilakukan meliputi analisis frekuensi dominan feroresonansi, nilai penalaan parameter FSC dan tegangan maupun arus. Pada analisis frekuensi dominan frekuensi, metode yang digunakan untuk mencari frekuensi tersebut yaitu menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*). Untuk mencari FFT ini diperlukan *script* pemrograman yang dijalankan dengan menggunakan software MATLAB. Pada analisis penalaan parameter FSC dilakukan perhitungan nilai parameter dengan memasukkan frekuensi hasil FFT sebelumnya. Setelah itu dilakukan analisis beban dan arus dengan beban yang digunakan dibuat bervariasi.



Gambar 3.1 Gardu Induk[7]

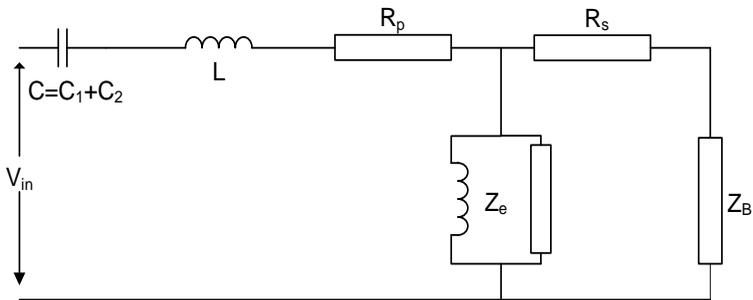


Gambar 3.2 Single line diagram gardu induk 150 kV [2]

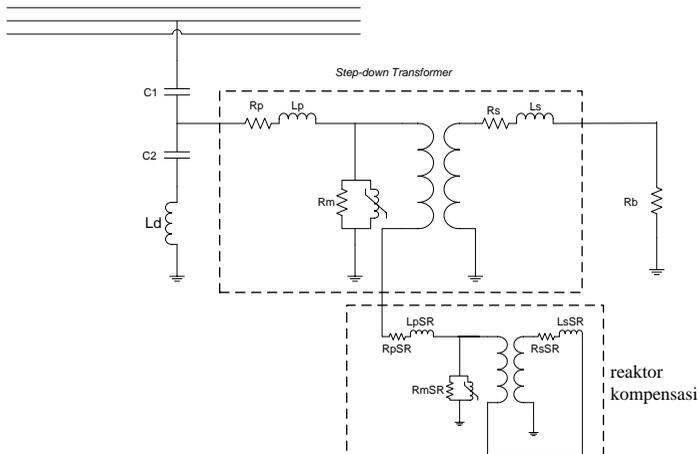
Pada penelitian ini difokuskan mengamati fenomena feroresonansi di bagian CVT pada gardu induk 150 kV, seperti yang terlihat pada gambar 3.2.

3.1 *Capacitive Voltage Transformer*

Capacitive Voltage Transformer adalah peralatan listrik yang digunakan pada sistem transmisi yang secara umum berfungsi untuk mengubah tegangan tinggi maupun ekstra tinggi menjadi tegangan rendah. Selain itu, CVT juga dapat digunakan sebagai pengukuran tegangan tinggi dan *monitoring* sistem dari sinyal output yang dihasilkan. Jenis trafo ini diperlukan proteksi yang baik dan cepat karena pada CVT dapat terjadi gejala feroresonansi. Gejala Feroresonansi ini terjadi karena adanya hubungan induktor non linear dengan kapasitor yang terdapat di dalam CVT. Pada CVT ini digunakan kapasitor pembagi tegangan di sisi primernya yang digunakan untuk meminimalkan tegangan yang masuk ke dalam CVT. Sedangkan untuk menurunkan tegangan sekunder ke suatu standar tidak lagi menggunakan kapasitor pembagi tegangan karena dinilai tidak ekonomis, sehingga digunakanlah trafo magnetik. Trafo magnetik tersebut menurunkan tegangan sekunder menuju nilai standar yaitu 100 atau $100\sqrt{3}$ Volt. Pada gambar 3.3 menunjukkan rangkaian ekuivalen CVT dan gambar 3.4 menunjukkan rangkaian skematik CVT.



Gambar 3.3 Rangkaian ekivalen CVT



Gambar 3.4 Rangkaian Skematik CVT

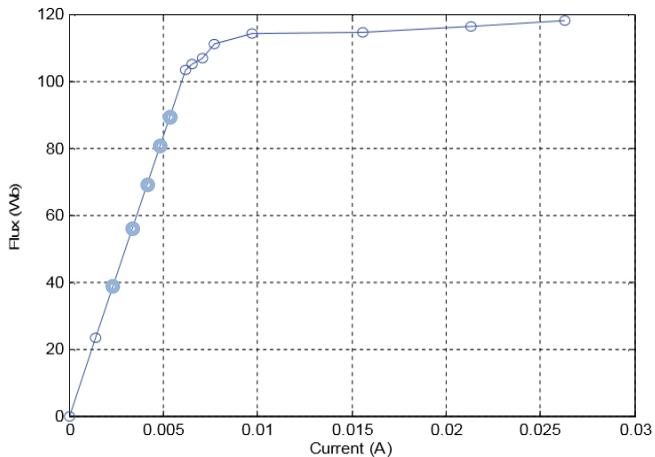
Parameter CVT yang digunakan pada penelitian ini berasal dari referensi yang sudah ada dan mempunyai nilai sebagai berikut:

Tabel 3.1 Paramater CVT[2]

Deskripsi	Parameter
Tegangan sistem	150 kV
Frekuensi	50 Hz
Pembagi tegangan kapasitif	$C_1 = 12.6 \text{ pF}$ $C_2 = 78 \text{ pF}$ $\text{Drain coil (LD)} = 10 \text{ mH}$

<i>Step down transformer (SDT)</i>	$R_p = 220 \Omega$ $L_p = 1.745 \text{ H}$ $R_m = 6500000 \Omega$ $R_s = 0.04 \Omega$ $L_s = 0.007 \text{ mH}$ <i>Trans ratio</i> = 78.74
Reaktor kompensasi (SR)	$R_{pSR} = 220 \Omega$ $L_{pSR} = 1.745 \text{ H}$ $R_{sSR} = 6500000 \Omega$ $L_{sSR} = 8841 \text{ H}$ $R_{mSR} = 0.04 \Omega$ <i>Trans ratio</i> = 28

Parameter yang digunakan pada CVT antara lain kapasitor pembagi C1 sebesar 12,6 pF dan C2 sebesar 78 pF dengan *load coil* sebesar 10 mH sesuai dengan referensi yang ada. Transformator yang digunakan yaitu transformator *step down* satu fasa dengan perbandingan tegangan pada sisi primer sebesar $20/\sqrt{3}$ kV dan pada sisi sekunder sebesar $100/\sqrt{3}$ V.



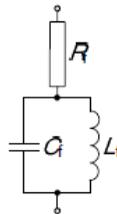
Gambar 3.5 Kurva magnetisasi pada CVT[2]

Pada sisi primer transformator *step down* mempunyai nilai resistansi R_l sebesar 220Ω dan induktansi L_l sebesar 1,745 H, sedangkan

untuk sisi sekunder memiliki nilai resistansi R_2 sebesar $0,04 \Omega$, induktansi L_2 sebesar $0,007 \text{ mH}$, dan resistansi beban sebesar 75Ω . Pada bagian magnetisasi memiliki resistansi R_m sebesar 6500000Ω . Untuk reaktor kompensasi dimodelkan dengan parameter R_{pSR} sebesar 220Ω , L_{pSR} sebesar 1.745 H , R_{sSR} sebesar 6500000Ω , L_{sSR} sebesar 8841 H , R_{mSR} sebesar 0.04Ω , *Trans ratio* sebesar 28.

3.2 *Ferroresonance Suppression Circuit (FSC)*[9]

Pada Tugas Akhir ini jenis rangkaian FSC yang digunakan yaitu *active ferroresonance suppression circuit*. Jenis FSC ini berbasis filter RLC seri-paralel. *Active ferroresonance suppression circuit* terdiri dari resistor R_f yang terhubung dengan kapasitor C_f yang dipasang paralel dengan induktor L_f yang telah disesuaikan pada resonansi frekuensi sistem. Resistor R_f digunakan untuk menghaluskan osilasi ferroresonansi. Sebelum dilakukan penalaan parameter FSC, maka dilakukan pencarian frekuensi dominan fenomenan feroresonansi dengan menggunakan FFT pada *software* MATLAB. Bentuk rangkaian FSC aktif ditunjukkan seperti gambar 3.4.



Gambar 3.6 Rangkaian FSC aktif

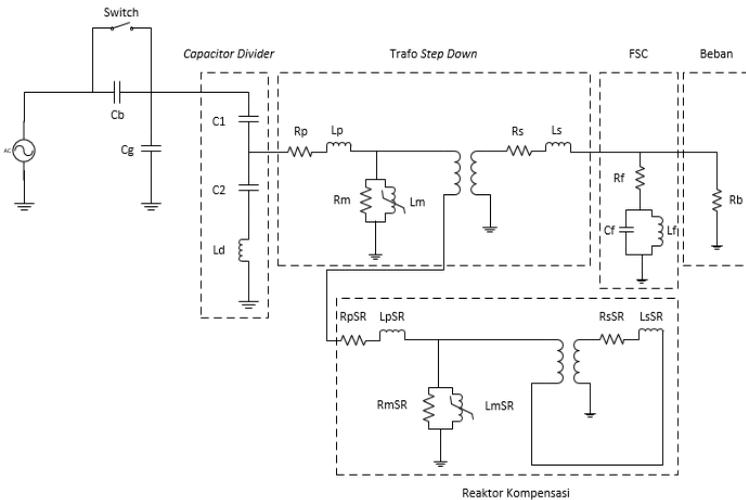
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA SIMULASI FERORESONANSI PADA *CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER*

4.1 Pemodelan Rangkaian Ferroresonansi

Pemodelan rangkaian ini digunakan untuk menunjukkan fenomena ferroresonansi yang terjadi pada keadaan tertentu. Pemodelan rangkaian ferroresonansi terdiri atas beberapa komponen seperti: saluran transmisi 150 kV, kapasitor pembagi tegangan, *compensating reactor* dan *step down transformer* pada *Capacitive Voltage Transformer (CVT)* serta *Ferroresonance suppression circuit (FSC)*. Pemodelan rangkaian digunakan pada software ATPDraw.



Gambar 4.1 Rangkaian Simulasi

sumber menggunakan tegangan rms *line-netral* yang dapat dihitung dengan persamaan 4.1 seperti berikut:

$$V_{L-Nrms} = \frac{V_{L-Lrms}}{\sqrt{3}} \quad (4.1)$$

$$V_{L-Nrms} = \frac{150\,000\text{ V}}{\sqrt{3}} = 86603\text{ V}$$

Sehingga, tegangan puncak *line-netral* ($V_{\text{peakLine-Netral}}$) dapat dihitung dengan persamaan 4.2 seperti berikut:

$$\begin{aligned} V_{L-Npeak} &= V_{L-Nrms} \times \sqrt{2} \\ V_{L-Npeak} &= 86603 \times \sqrt{2} = 122475\text{ V} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Pada pemodelan ini digunakan *Circuit Breaker* (CB) yang dapat diatur dengan waktu yang diinginkan. *Circuit Breaker* ini tersusun dari komponen yang berupa *switch* yang dipasang paralel dengan *grading capacitor* C_b sebesar 8 pF dan kapasitor C_g sebesar 6 pF untuk merepresentasikan kapasitansi saluran dengan tanah.

4.2 Analisa Hasil Simulasi

4.2.1 Keadaan Normal

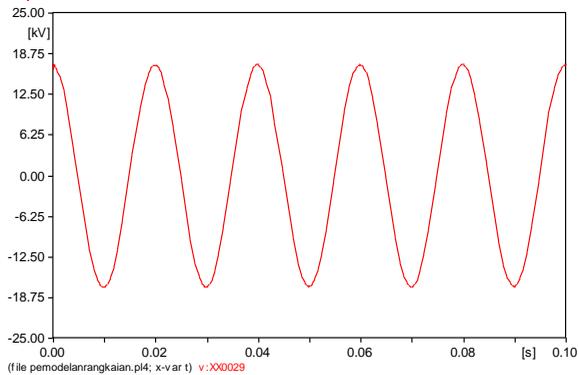
Ketika dalam keadaan normal, hasil pengukuran tegangan input pada CVT yang merupakan tegangan pembagi kapasitor yaitu memiliki tegangan puncak (V_{peak}) 17,021 kV. Sedangkan hasil perhitungan dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{V_u}{V_1} = \frac{c_1+c_2}{c_1} \quad (4.3)$$

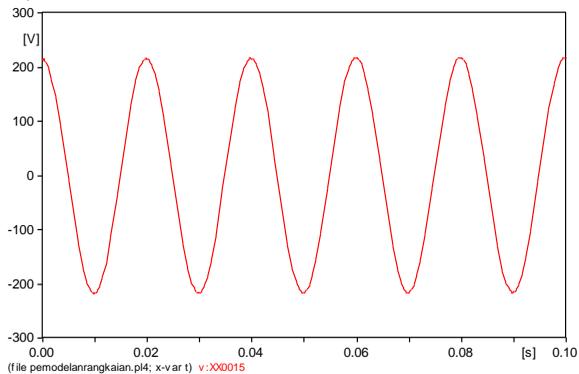
$$V_{inCVT(peak)} = \frac{c_1}{c_1+c_2} \times V_{system(peak)} \quad (4.4)$$

$$V_{inCVT(peak)} = \frac{0,0126\ \mu F}{0,0126\ \mu F + 0,078\ \mu F} \times 122475\text{ V} = 17,033\text{ kV}$$

Hasil pengukuran tegangan sisi primer pada CVT mempunyai nilai yang sama dengan hasil perhitungan yaitu sebesar 17,033 kV. Pada gambar 4.2 menunjukkan tegangan primer CVT pada kondisi normal. Pada gambar 4.3 menunjukkan tegangan sekunder CVT pada kondisi normal.



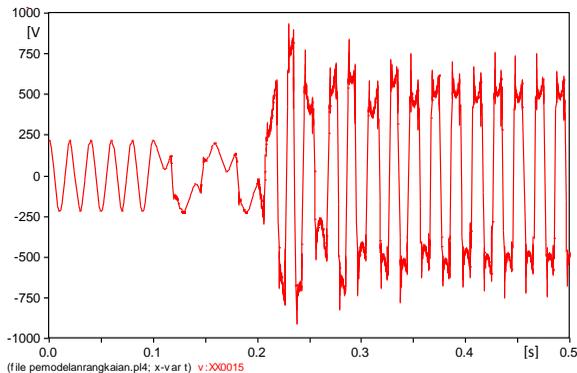
Gambar 4.2 Tegangan sisi primer CVT saat keadaan normal



Gambar 4.3 Tegangan sisi sekunder CVT saat keadaan normal

4.2.2 Analisa Parameter *Ferroresonance Suppression Circuit*

Pada penelitian ini untuk membangkitkan feroresonansi maka diatur dengan memberikan *switching* pada detik ke 0,1 dan beban R_b tetap 75 Ohm. Pada gambar 4.4 terlihat fenomena feroresonansi yang terdapat gelombang tegangan sisi sekunder CVT.

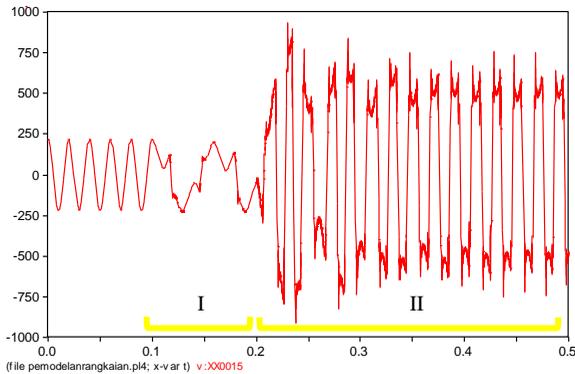


Gambar 4.4 Tegangan sisi sekunder CVT tanpa *ferroresonance suppression circuit*

Dari hasil pengukuran diperoleh tegangan puncak sisi sekunder CVT sebesar 932,35 Volt. Fenomena ferroresonansi yang terjadi muncul karena adanya tegangan lebih atau arus lebih, hal ini sesuai dengan yang terlihat pada bentuk gelombang yang terdapat pada gambar 4.4.

4.2.2.1 *Analisa frekuensi di dalam ferroresonansi dengan FFT*

Pada penelitian ini sebelum menentukan nilai parameter dari FSC maka terlebih dahulu mencari frekuensi dominan ketika terjadi ferroresonansi. Aplikasi yang digunakan untuk mencari frekuensi tersebut yaitu menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*). Untuk mencari FFT ini diperlukan *script* pemrograman yang dijalankan dengan menggunakan software MATLAB. Gambar 4.5 Pemotongan sinyal ketika terjadi ferroresonansi sedangkan gambar 4.6 menunjukkan *script* yang digunakan untuk menjalankan metode FFT.



Gambar 4.5 Pemotongan sinyal ketika terjadi feroresonansi

Sebelum dilakukan pencarian frekuensi dominan dengan metode FFT pada MATLAB, maka dilakukan pemotongan sinyal ketika terjadi feroresonansi agar mendapatkan hasil yang spesifik. Pemotongan sinyal dibagi menjadi 2 bagian yaitu sinyal pada saat detik ke 0,1 hingga 0,2 dan sinyal pada saat detik 0,2 hingga 0,5. Masing-masing sinyal tersebut akan di-convert menjadi file yang dapat dioperasikan di MATLAB kemudian dilakukan pencarian frekuensi dominan menggunakan metode FFT dengan *script* yang telah ditentukan.

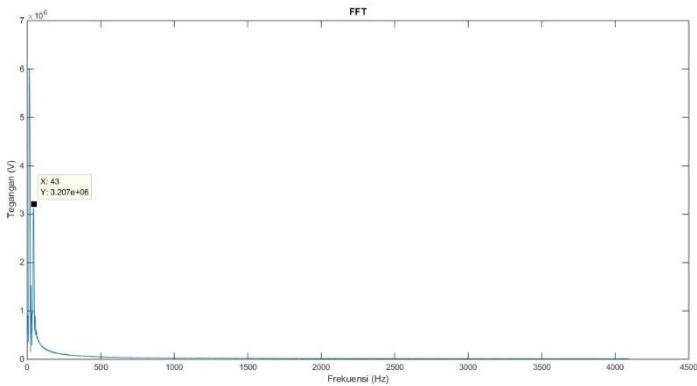
```

1 -   Fs=5000;                               % Sampling frequency
2 -   Ts=1/Fs;                               % Sample time
3 -   dt=0:Ts:2-Ts;
4
5 -   nfft=5001;                             % Length of signal
6 -   nfft2=2^nextpow2(nfft);
7 -   ff=fft(vXx0028,nfft2);
8 -   fff=ff(1:nfft2/2);
9 -   plot(abs(ff));
10 -  plot(abs(fff));
11 -  title('FFT')
12 -  xlabel('Frekuensi (Hz)')
13 -  ylabel('Tegangan (V)')

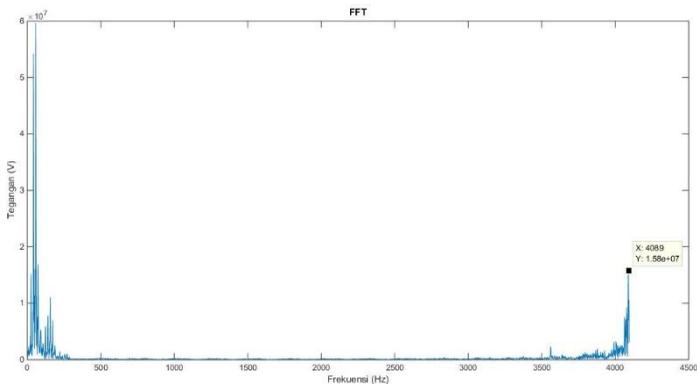
```

Gambar 4.6 *Script* FFT pada MATLAB

Pada Gambar 4.7 menunjukkan grafik hasil dari FFT ketika detik 0,1 hingga 0,2 dan Gambar 4.8 menunjukkan grafik hasil dari FFT ketika detik 0,2 hingga 0,5.



Gambar 4.7 Grafik hasil FFT ketika detik 0,1 hingga 0,2



Gambar 4.8 Grafik hasil FFT ketika detik 0,2 hingga 0,5

Berdasarkan hasil pemrograman dapat diketahui bahwa ketika detik 0,1 hingga 0,2 frekuensi dominan yang diperoleh yaitu pada frekuensi 43 Hz sedangkan ketika detik 0,2 hingga 0,5 frekuensi dominan yang diperoleh yaitu pada frekuensi 4089 Hz. Frekuensi tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai parameter-parameter dari FSC.

4.2.2.2 Analisa nilai parameter FSC

Pada penelitian ini sebelumnya telah diperoleh frekuensi dominan yaitu 43 Hz dan 4089 Hz dari hasil FFT dengan *software* MATLAB. Frekuensi tersebut digunakan untuk menentukan nilai parameter dari FSC seperti berikut:

Kapasitor (C)

Nilai parameter kapasitor diperoleh dengan diasumsikan yaitu sebesar 0,005 μF .

Induktor (L)

Nilai parameter induktor dapat diperoleh dengan memanfaatkan persamaan resonansi yaitu $X_L = X_C$ sehingga,

$$X_L = X_C \quad (4.5)$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (4.6)$$

$$L = \frac{1}{2\pi f C} \quad (4.7)$$

Untuk frekuensi dominan 43 Hz

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 43)^2 \times 0,005 \times 10^{-6}}$$

$$L = 2739,89 \text{ H}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi \times 50 \times 0,30299 = 860761\Omega$$

Untuk frekuensi dominan 4089 Hz

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 4089)^2 \times 0,005 \times 10^{-6}}$$

$$L = 0,30299 \text{ H}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi \times 50 \times 0,30299 = 95,18\Omega$$

Resistor (R)

Nilai parameter resistor dapat diperoleh dengan memanfaatkan persamaan resonansi maka berlaku bahwa $X_L = X_C = X_O$ sehingga nilai R dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Q = \frac{X_O}{R} \quad (4.8)$$

$$R = \frac{X_L}{Q} \quad (4.9)$$

Niali Q merupakan nilai dari faktor kualitas filter. Pada penelitian ini digunakan filter jenis pasif yang mana pada umumnya nilai Q berkisar antara 30 sampai 60 sehingga diasumsikan bahwa nilai Q dibuat bervariasi yaitu sebesar 30, 40 dan 60 maka,

Untuk frekuensi dominan 43 Hz

$$R = \frac{860761}{30} \quad R = \frac{860761}{40} \quad R = \frac{860761}{60}$$

$$R = 28692,03\Omega \quad R = 21519,02\Omega \quad R = 14346,01\Omega$$

Maka dari itu dipilih nilai R sebesar 14346,01 Ω karena nilai resistansi tersebut yang terendah.

Untuk frekuensi dominan 4089 Hz

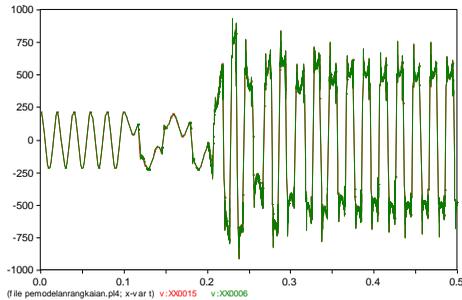
$$R = \frac{95,18}{30} \quad R = \frac{95,18}{40} \quad R = \frac{95,18}{75}$$

$$R = 3,17\Omega \quad R = 2,37\Omega \quad R = 1,58\Omega$$

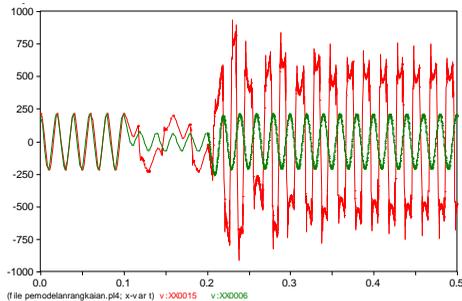
Maka dari itu dipilih nilai R sebesar 3,17 Ω karena nilai tersebut yang paling mendekati realistis.

Berdasarkan hasil analisa dapat diketahui bahwa nilai parameter FSC yang pertama yaitu C_f sebesar 0,005 μF , L_f sebesar 2739,89 H dan R_f sebesar 14346,01 Ohm sedangkan nilai parameter FSC yang kedua yaitu C_f sebesar 0,005 μF , L_f sebesar 0,30299 H dan R_f sebesar 3,17 Ohm.

Maka dari itu dilakukan pembuktian dengan memasukan nilai-nilai parameter tersebut ke dalam simulasi. Simulasi diatur dengan memberikan *switching* pada detik ke 0,1 dan Beban R_b dibuat tetap sebesar 75 Ohm. Gambar 4.9 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC yang pertama (hijau) dan Gambar 4.10 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC yang kedua (hijau)



Gambar 4.9 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder pakai FSC yang pertama (hijau)



Gambar 4.10 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder pakai FSC yang kedua (hijau)

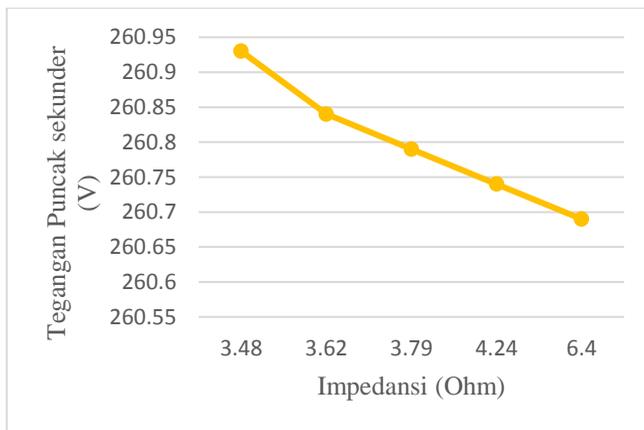
Berdasarkan dari gambar 4.9 dan 4.10 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan FSC yang pertama, feroresonansi tidak dapat teredam, hal tersebut terlihat dari bentuk sinyal yang tidak stabil. Untuk FSC yang kedua, feroresonansi dapat diredam dengan cukup baik, hal tersebut terlihat dari bentuk sinyal yang stabil dan tegangan lebih dapat diatasi.

Maka dari itu, pada penelitian ini berdasarkan hasil analisa parameter yang telah dilakukan maka dipilih nilai parameter FSC yang akan dipakai yaitu nilai C_f sebesar $0,005 \mu\text{F}$, L_f sebesar $0,30299 \text{ H}$ dan R_f sebesar $3,17 \text{ Ohm}$. Setelah itu dilakukan impedansi *scanning* yaitu dengan cara mengubah nilai dari C_f dengan *range* antara $0,001 \mu\text{F}$ hingga $0,01$

μF sedangkan nilai L_f dan R_f dibuat tetap. Gambar 4.11 menunjukkan grafik dari impedansi *scanning*.

Tabel 4.1 Impedansi terhadap tegangan sekunder dengan FSC

C	0.001	0.003	0.005	0.007	0.01
Z	6.4	4.24	3.79	3.62	3.48
V _p	260.69	260.74	260.79	260.84	260.93



Gambar 4.11 Grafik impedansi *scanning* terhadap tegangan sekunder dengan FSC

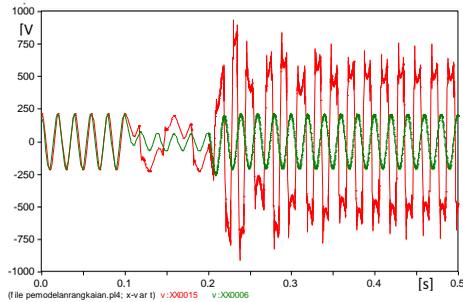
Berdasarkan hasil dari impedansi *scanning* dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C_f maka semakin kecil nilai tegangan sekunder ketika menggunakan FSC.

4.2.3 Analisa Tegangan

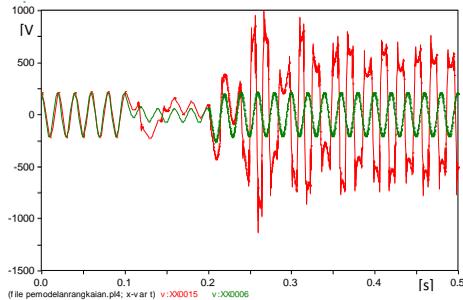
Pada penelitian ini, berdasarkan hasil analisa parameter yang telah dilakukan maka diperoleh nilai parameter FSC yang akan dipakai yaitu nilai C_f sebesar 0,005 μF , L_f sebesar 0,30299 H dan R_f sebesar 3,17 Ohm.

4.2.3.1 Studi Beban R

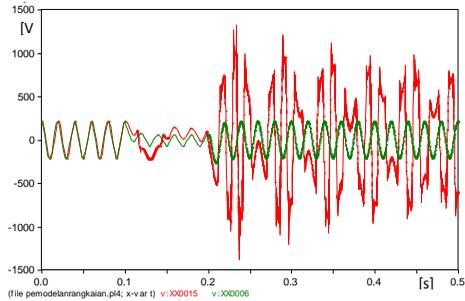
Pada penelitian ini untuk meredam feroresonansi maka diatur dengan memberikan *switching* pada detik ke 0,1. Beban R_b yang digunakan dibuat bervariasi mulai dari 75 Ohm hingga 750 Ohm. Gambar 4.12 sampai gambar 4.16 menunjukkan respon tegangan sekunder saat tanpa FSC dan tegangan sekunder dengan FSC ketika R_b bernilai 75 Ohm hingga 750 Ohm.



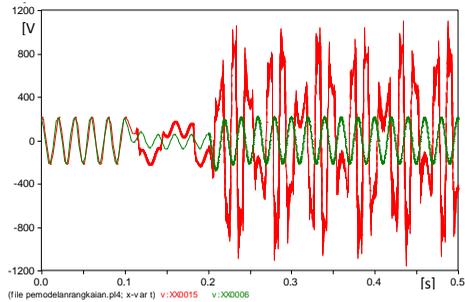
Gambar 4.12 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 75 Ohm.



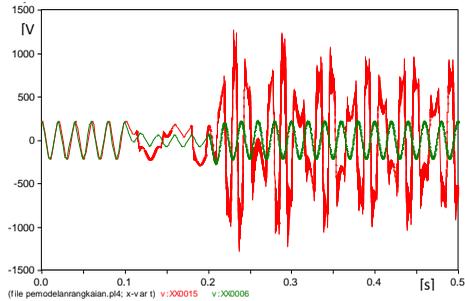
Gambar 4.13 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 100 Ohm.



Gambar 4.14 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 250 Ohm.



Gambar 4.15 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 500 Ohm.



Gambar 4.16 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 750 Ohm.

Berdasarkan dari gambar 4.12 hingga gambar 4.16 dapat diketahui bahwa perubahan nilai R_b mengakibatkan fenomena fereresonansi yang berbeda-beda, hal tersebut terlihat pada bentuk gelombang yang dihasilkan pada simulasi. Selain itu, tegangan puncak sekunder juga mengalami perbedaan ketika perubahan nilai R_b . Tabel 4.2 menunjukkan pengaruh R_b terhadap tegangan puncak primer dan tabel 4.3 menunjukkan pengaruh R_b terhadap tegangan puncak sekunder.

Tabel 4.2 Pengaruh R_b terhadap tegangan puncak primer

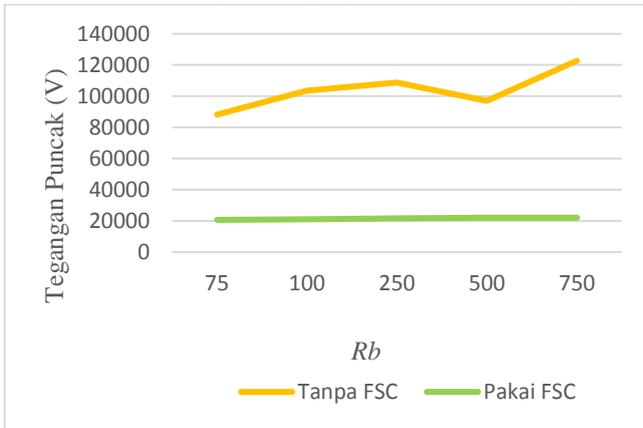
R_b (Ohm)	Tegangan puncak primer (V)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
75	88192	20680	426
100	103670	21025	493
250	108650	21728	500
500	97061	21985	441
750	122720	22079	555

Tabel 4.3 Pengaruh R_b terhadap tegangan puncak sekunder

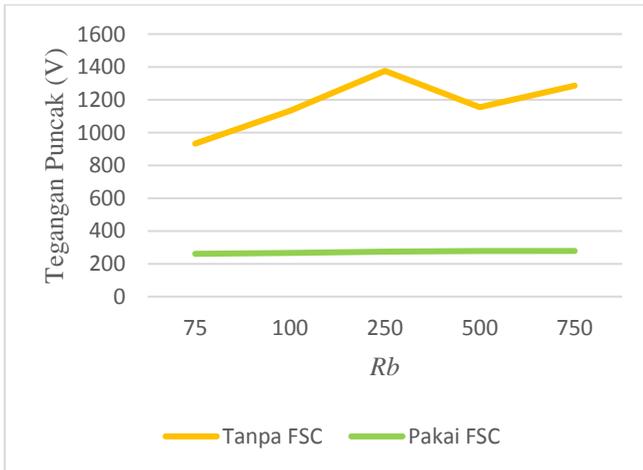
R_b (Ohm)	Tegangan puncak sekunder (V)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
75	932,25	260,79	357
100	1133,2	265,76	426
250	1375,7	274,24	501
500	1154,5	277,09	416
750	1285,2	278,30	461

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa untuk yang tanpa FSC, semakin besar R_b maka semakin besar tegangan puncak sisi primer maupun sekunder. Tetapi untuk R_b bernilai 50 Ohm, tegangan puncak sisi primer maupun sekunder untuk tanpa FSC mengalami penurunan. Sedangkan untuk tegangan puncak sisi primer maupun

sekunder dengan FSC, ketika R_b semakin besar maka mengalami kenaikan tegangan yang relatif sedikit akan tetapi fenomena feroresonansi dapat diatasi dan juga tegangan lebih akibat fenomena feroresonansi dapat diatasi. Gambar 4.17 menunjukkan grafik tegangan primer terhadap R_b dan gambar 4.18 menunjukkan grafik tegangan sekunder terhadap R_b .



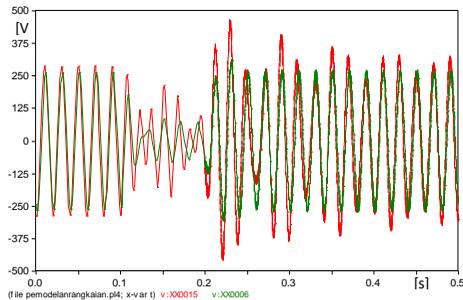
Gambar 4.17 Grafik tegangan primer terhadap R_b



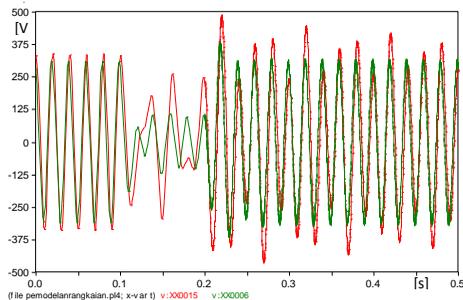
Gambar 4.18 Grafik tegangan sekunder terhadap R_b

4.2.3.2 Studi Beban R dan L

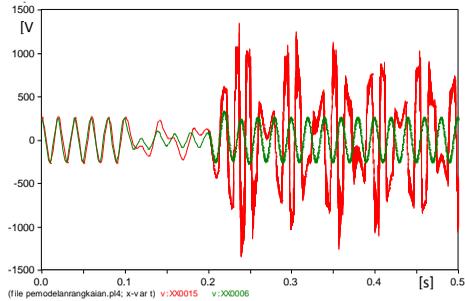
Pada penelitian sebelumnya beban pada CVT hanya berupa resistor semata, maka pada penelitian ini ditambahkan beban induktor untuk menguji performa FSC terhadap fenomena feroresonansi. Pada penelitian ini untuk meredam feroresonansi maka diatur dengan memberikan *switching* pada detik ke 0,1. Beban L_b yang digunakan dibuat bervariasi mulai dari 10 mH hingga 200 mH, sedangkan R_b dibuat tetap sebesar 750 Ohm. Gambar 4.19 sampai gambar 4.23 menunjukkan respon tegangan sekunder saat tanpa FSC dan tegangan sekunder dengan FSC ketika L_b bernilai 10 mH hingga 200 mH.



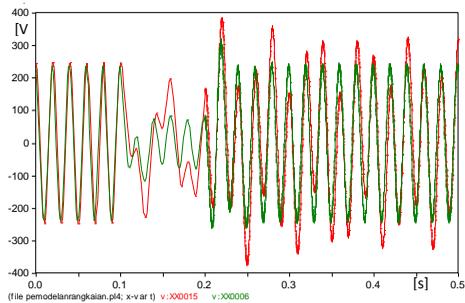
Gambar 4.19 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b 10 mH.



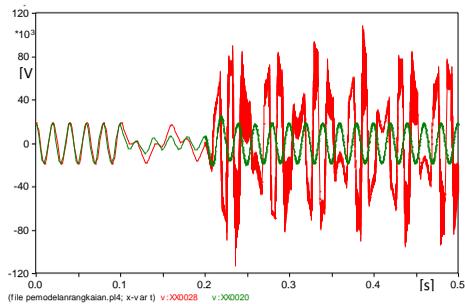
Gambar 4.20 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b 50 mH.



Gambar 4.21 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b 100 mH.



Gambar 4.22 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b 150 mH.



Gambar 4.23 Tegangan sekunder tanpa FSC (merah) dan tegangan sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b 200 mH.

Berdasarkan dari gambar 4.19 hingga 4.23 dapat diketahui bahwa perubahan nilai L_b mengakibatkan fenomena feroresonansi dan juga adanya *ripple*. Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 menunjukkan pengaruh L_b terhadap tegangan puncak sisi primer dan sekunder.

Tabel 4.4 Pengaruh L_b terhadap tegangan puncak primer

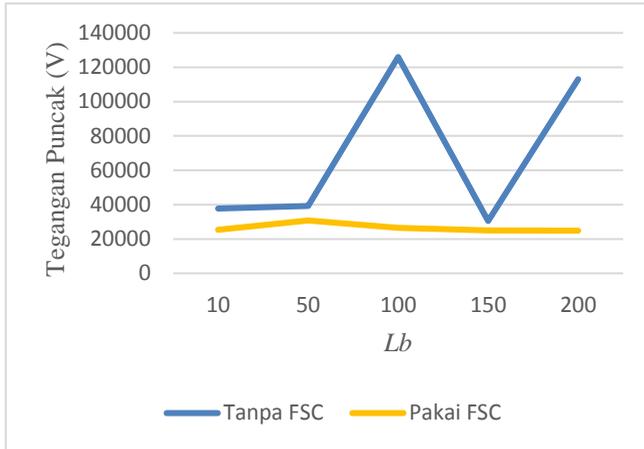
L_b (mH)	Tegangan puncak primer (V)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
10	37754	25273	149
50	39294	30770	127
100	125990	26469	476
150	30493	25006	121
200	113080	24858	454

Tabel 4.5 Pengaruh L_b terhadap tegangan puncak sekunder

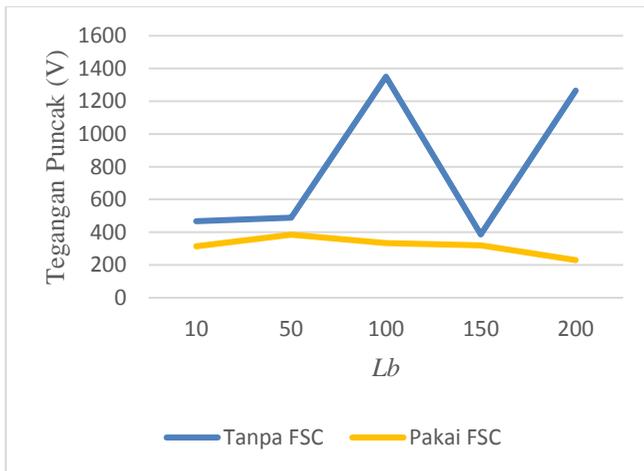
L_b (mH)	Tegangan puncak sekunder (V)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
10	466,71	314,51	148
50	488,08	385,05	126
100	1350,1	334,73	403
150	386,49	320,75	120
200	1265,2	229,77	550

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa untuk yang tanpa FSC, perubahan nilai L_b mengakibatkan perubahan tegangan puncak sisi primer maupun sekunder yang berbeda-beda. Sedangkan untuk tegangan puncak sisi primer maupun sekunder dengan FSC, ketika L_b semakin besar maka tegangan puncaknya semakin turun. Ketika beban L_b bernilai 100 mH, tegangan puncak mempunyai nilai tertinggi yaitu pada sisi primer sebesar 125,99 kV dan sisi sekunder sebesar 1350,1 volt. Pada penelitian ini fenomena feroresonansi dapat diatasi dengan baik.

Gambar 4.24 menunjukkan grafik tegangan primer terhadap L_b dan gambar 4.25 menunjukkan grafik tegangan sekunder terhadap L_b .



Gambar 4.24 Grafik tegangan primer terhadap L_b



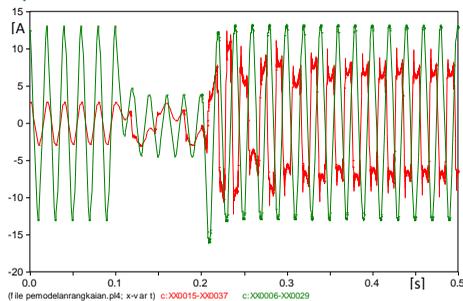
Gambar 4.25 Grafik tegangan sekunder terhadap L_b

4.2.4 Analisa Arus

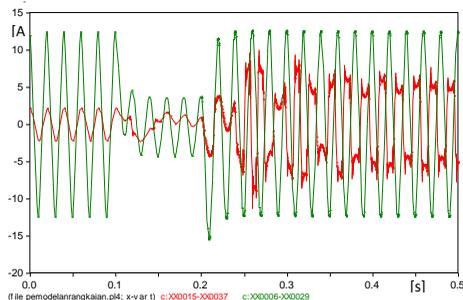
Pada penelitian ini, berdasarkan hasil analisa parameter yang telah dilakukan maka diperoleh nilai parameter FSC yang akan dipakai yaitu nilai C_f sebesar $0,005 \mu\text{F}$, L_f sebesar $0,30299 \text{ H}$ dan R_f sebesar $3,17 \text{ Ohm}$.

4.2.4.1 Studi Beban R

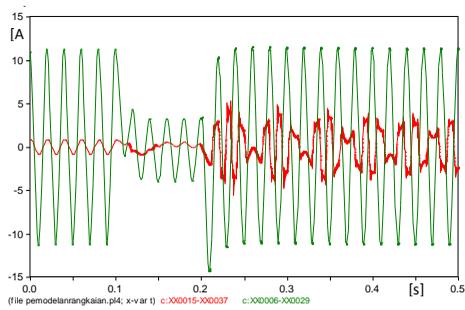
Pada penelitian ini untuk meredam feroresonansi maka diatur dengan memberikan *switching* pada detik ke 0,1. Beban R_b yang digunakan dibuat bervariasi mulai dari 75 Ohm hingga 750 Ohm . Gambar 4.26 hingga gambar 4.30 menunjukkan respon arus sekunder saat tanpa FSC dan arus sekunder dengan FSC ketika R_b bernilai 75 Ohm hingga 1000 Ohm .



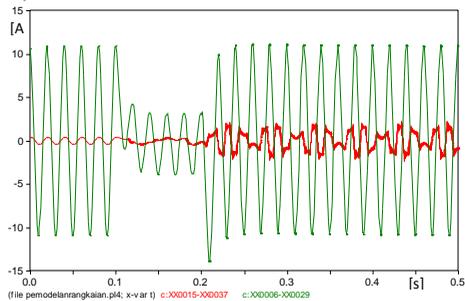
Gambar 4.26 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 75 Ohm .



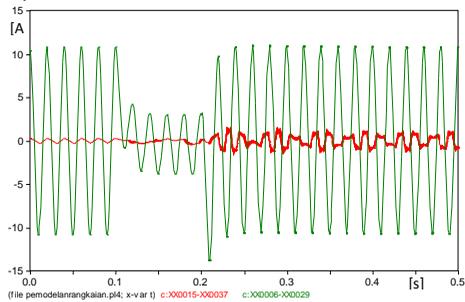
Gambar 4.27 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 100 Ohm .



Gambar 4.28 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 250 Ohm.



Gambar 4.29 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 500 Ohm.



Gambar 4.30 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat R_b bernilai 750 Ohm.

Berdasarkan dari gambar 4.26 hingga 4.30 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai R_b maka semakin kecil arus puncaknya. Hal tersebut menunjukkan bahwa sesuai dengan teori bahwa hambatan mempunyai hubungan berbanding terbalik dengan arus. Tabel 4.6 dan tabel 4.7 menunjukkan respon pengaruh R_b terhadap arus puncak sisi primer dan sekunder.

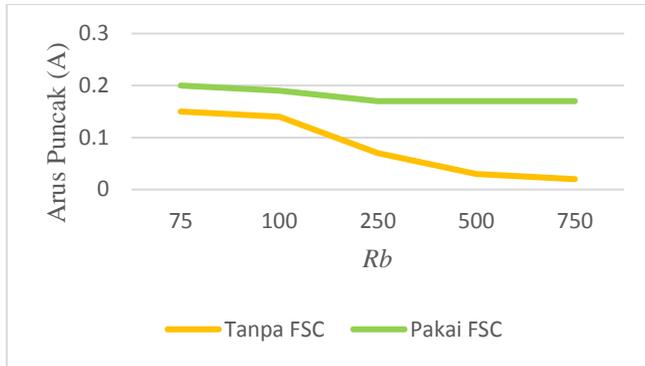
Tabel 4.6 Pengaruh nilai R_b terhadap arus puncak primer

R_b (Ohm)	Arus puncak primer (A)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
75	0,15	0,20	133
100	0,14	0,19	135
250	0,07	0,17	242
500	0.03	0,17	566
750	0,02	0,17	850

Tabel 4.7 Pengaruh nilai R_b terhadap arus puncak sekunder

R_b (Ohm)	Arus puncak sekunder (A)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
75	12,43	16,11	129
100	11,332	15,51	136
250	5,503	14,35	260
500	2,309	13,9	601
750	1,60	13,7	856

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa untuk tanpa FSC, nilai arus puncak pada sisi primer maupun sekunder mengalami penurunan ketika R_b semakin besar. Sedangkan untuk arus puncak sisi primer dan sekunder dengan FSC nilainya relatif konstan sehingga hal ini menunjukkan bahwa fenomena feroresonansi dapat diatasi dengan baik. Gambar 4.31 menunjukkan grafik arus primer terhadap R_b dan gambar 4.32 menunjukkan grafik arus sekunder terhadap R_b .



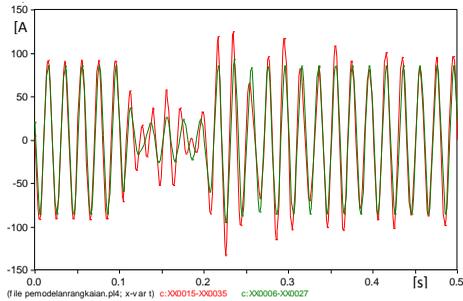
Gambar 4.31 Grafik arus primer terhadap R_b



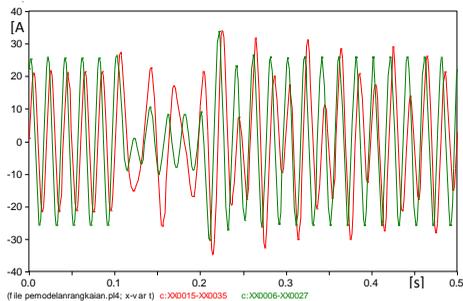
Gambar 4.32 Grafik arus sekunder terhadap R_b

4.2.4.2 Studi Beban R dan L

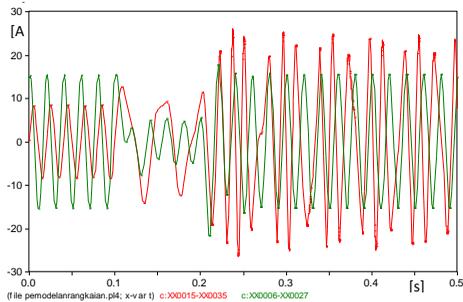
Pada penelitian sebelumnya beban pada CVT hanya berupa resistor semata, maka pada penelitian ini ditambahkan beban induktor untuk menguji performa FSC terhadap fenomena feroresonansi. Pada penelitian ini untuk meredam feroresonansi maka diatur dengan memberikan *switching* pada detik ke 0,1. Beban L_b yang digunakan dibuat bervariasi mulai dari 10 mH hingga 200 mH, sedangkan R_b dibuat tetap sebesar 750 Ohm. Gambar 4.33 sampai gambar 4.37 menunjukkan respon tegangan sekunder saat tanpa FSC dan tegangan sekunder dengan FSC ketika L_b bernilai 10 mH hingga 200 mH.



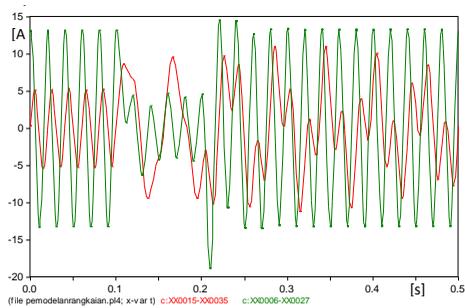
Gambar 4.33 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 10 Ohm.



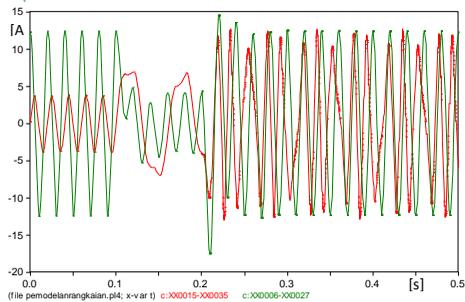
Gambar 4.34 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 50 mH.



Gambar 4.35 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 100 mH.



Gambar 4.36 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 150 mH.



Gambar 4.37 Arus sekunder tanpa FSC (merah) dan arus sekunder dengan FSC (hijau) saat L_b bernilai 200 mH.

Berdasarkan dari gambar 4.33 hingga 4.37 dapat diketahui bahwa perubahan nilai L_b mengakibatkan nilai arus yang berbeda akibat fenomena feroresonansi. Tabel 4.8 dan tabel 4.9 menunjukkan respon pengaruh L_b terhadap arus puncak sisi primer dan sekunder.

Tabel 4.8 Pengaruh L_b terhadap arus puncak primer

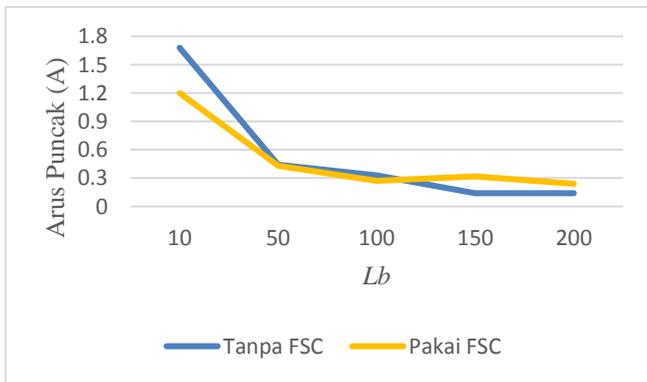
L_b (mH)	Arus puncak primer (A)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
10	1,68	1,20	71
50	0,44	0,43	97
100	0,33	0,27	81

150	0,14	0,32	228
200	0,14	0,24	171

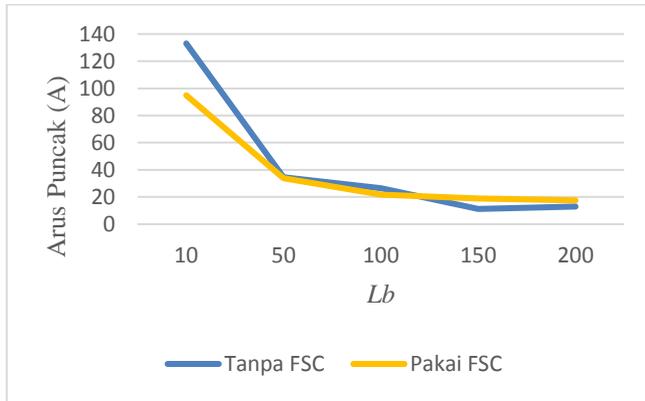
Tabel 4.9 Pengaruh L_b terhadap arus puncak sekunder

L_b (mH)	Arus puncak sekunder (A)		Prosentase (%)
	Tanpa FSC	Dengan FSC	
10	133,05	94,9	71
50	34,58	33,8	97
100	26,4	21,7	82
150	11,2	18,9	168
200	12,9	17,5	135

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa untuk tanpa FSC, nilai arus puncak pada sisi primer maupun sekunder mengalami penurunan ketika L_b semakin besar. Tetapi untuk L_b bernilai 200 mH, arus puncak sisi primer dan sekunder mengalami peningkatan. Sedangkan untuk arus puncak sisi primer dan sekunder dengan FSC nilainya relatif konstan sehingga hal ini menunjukkan bahwa fenomena feroresonansi dapat diatasi dengan baik. Gambar 4.38 menunjukkan grafik arus primer terhadap L_b dan gambar 4.39 menunjukkan grafik arus sekunder terhadap L_b .



Gambar 4.38 Grafik arus primer terhadap L_b



Gambar 4.39 Grafik arus sekunder terhadap L_b

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data pada penelitian ini, dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Pada penelitian ini parameter FSC aktif ditentukan untuk mengatasi tegangan tinggi dan arus tinggi yang ditimbulkan feroresonansi akibat *switching*.
2. Berdasarkan hasil analisa dipilih nilai parameter FSC yaitu nilai R sebesar 3,17 Ohm, L sebesar 0,30299 H dan C sebesar 0,005 μ F.
3. Pada studi beban R, semakin besar nilai R_b maka tegangan puncak sisi primer dan sekunder dengan FSC mengalami kenaikan relatif sedikit akan tetapi dapat meredam tegangan lebih, sedangkan untuk arus puncak dengan FSC nilainya relatif konstan sehingga hal ini menunjukkan bahwa fenomena feroresonansi dapat diatasi dengan baik.
4. Pada studi beban R dan L, semakin besar nilai L_b maka tegangan puncak sisi primer dan sekunder dengan FSC semakin turun dan dapat meredam tegangan lebih karena feroresonansi, sedangkan untuk arus puncak sisi primer dan sekunder dengan FSC nilainya relatif konstan sehingga hal ini menunjukkan bahwa fenomena feroresonansi dapat diatasi dengan baik.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah melakukan studi lebih lanjut untuk membandingkan parameter yang telah diuji dengan yang ada di lapangan secara langsung agar didapatkan hasil yang obyektif untuk perihal fenomena feroresonansi ini. Selain itu mungkin perlu dilakukan cara lain untuk menanggulangi feroresonansi agar lebih baik lagi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

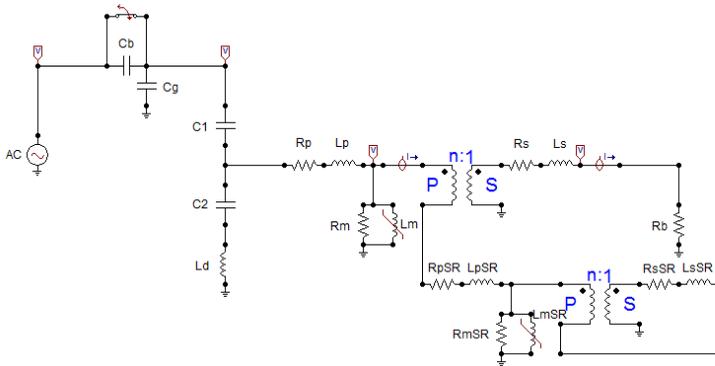
- [1] Tobing, Bonggas L., *"Peralatan Tegangan Tinggi"*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2] A. Nuruddin, *"Studi Perancangan Ferroresonance Suppression Circuit (FSC) Pada Capacitive Voltage Transformer (CVT) Saluran Transmisi 150 KV"*. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [3] P. Ferracci, *"Ferroresonance"*. in *Cahier Technique Schneider*, Group Schneider: Cahier no 190, 1998, pp. 1-30.
- [4] S. Shahabi, M. Mirzaei, A. Gholami, S. Taheri, *"Investigation of Performance of Ferroresonance Suppressing Circuits in Coupling Capacitor Voltage Transformers"*. in IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Iran, 2009..
- [5] Sipasulta, R.Y, *"Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform)"*. Teknik Elektro, UNSRAT Manado, 2014
- [6] Sinuraya, J.S.P, *"Analisis Pengaruh Kapasitansi Terhadap Feroresonansi Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Diagram Bifurkasi"*. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [7] Kisdarmawan, S.D, *"Analisis Deteksi Feroresonansi Menggunakan Transformasi Wavelet Pada Sistem Transmisi 500 kV"*. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [8] J. Izykowski, E. Rosolowski, P. Pierz and M. M. Saha, *"Design of Ferroresonance Suppression Circuit for Capacitive Voltage Transformer – Analytical Approach Supported by Simulation"*. in Power Systems Computation Conference (PSCC), Poland, 2016.
- [9] V. Valverde, J. Mazón, G. Buigues, I. Zamora, *"Ferroresonance Suppression in Voltage Transformers"*. in Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering of Bilbao, University of the Basque Country, Spain, 2012.
- [10] Wiratha, Putu W., *"Analisis fenomena ferroresonance pada Capacitive Voltage Transformer (CVT) akibat pelepasan beban secara mendadak"*, Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya, 2011

Halaman ini sengaja dikhongkan


LAMPIRAN

Simulasi rangkaian pada ATPDraw


Rangkaian normal




Rangkaian dengan FSC aktif



Rangkaian dengan beban R dan L tanpa FSC



Rangkaian dengan beban R dan L menggunakan FSC aktif



BIOGRAFI PENULIS



Eko Pradipto Raharjo lahir di Klaten, 6 Juni 1995. Penulis menempuh pendidikan mulai di TK ABA 1 Sajen tahun 2001. Setelah itu melanjutkan pendidikan di SD Negeri 1 Sajen lulus tahun 2007. Kemudian lulus pendidikan SMP tahun 2010 di SMP Negeri 3 Pedan. Tahun 2013 lulus dari SMA Negeri 1 Klaten. Kemudian melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013. Selama kuliah, penulis aktif di organisasi UKM IBC (ITS Badminton Community) dan ITS Open. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email ekopradiptoraharjo10@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan