



**PEMODELAN SISTEM PEMULIHAN TEGANGAN KEDIP  
DENGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER  
MENGUNAKAN KENDALI FUZZY LOGIC  
CONTROLLER**

**SKRIPSI**

diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Strata Satu Teknik Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Jember

Oleh :

**Mohammad Wasito  
NIM. 031910201058**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2010**



**PEMODELAN SISTEM PEMULIHAN TEGANGAN KEDIP  
DENGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER  
MENGUNAKAN KENDALI FUZZY LOGIC  
CONTROLLER**

**SKRIPSI**

diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Strata Satu Teknik Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Jember

Oleh :

**Mohammad Wasito  
NIM. 031910201058**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2010**

## PERSEMBAHAN

*Skripsi ini merupakan karya yang tidak akan terlupakan bagiku yang berisikan harapan dan manfaat untuk kehidupan manusia menuju kehidupan yang lebih baik. Oleh karena, karya ini ingin saya persembahkan untuk:*

- 1 Kedua orang tuaku, Bapak Mujiono Syah dan Ibu Supiah, Kakakku Mas Dany Mulyono dan Mas Achmad Sony, terima kasih semua dukungan dan doa restunya hingga selesainya studi ku.*
- 2 Semua Keluarga dan Familyku yang senantiasa menyemangati dan mendoakanku*
- 3 Guru hidupku Bapak Andi Setiawan, Bapak Syamsul Bachri, Bapak Wiedjonarko, Bapak Dedy Kurnia Setiawan dan Mas Fery yang senantiasa memberikan bimbingan dan nasihatnya padaku.*
- 4 Sahabat terbaikku Yuyun Widayastutik, Sugik Adining Pamungkas dan Nining Wijayanti yang mewarnai hidupku*
- 5 Adik – adikku yang tercinta Paramitha Darmasih, dan Indriana Puspaningrum yang selalu memberikan perhatiannya padaku.*
- 6 Tim Asisten di laboratorium konversi energy dan instalasi Listrik Abdullah As'ari, Mas'ud, Ali Rahmad Yanuardi, Arif Prakarsa, Dinie Fitriah, Fatchur Rozi, Mustaqim Indra, Abdilllah Pratama, Darsono, Fanny Nurdiansyah, Agung Teguh Pribadi. Yang telah menjalin tim yang hebat.*
- 7 Teman-teman kosku di Slamet Riyadi 43 Patrang Jember. Achmad Ansori, Syaqui. Yang mengingatkanku untuk menyusul mereka lulus.*
- 8 Para Tikus Lab: Achmad Fajar Craebox, Tholibir Rifqi, Allam Musleah, Chayron, Fathur, Amin, Agus Bali, Agus Sehat, dan lain-lain terima kasih*

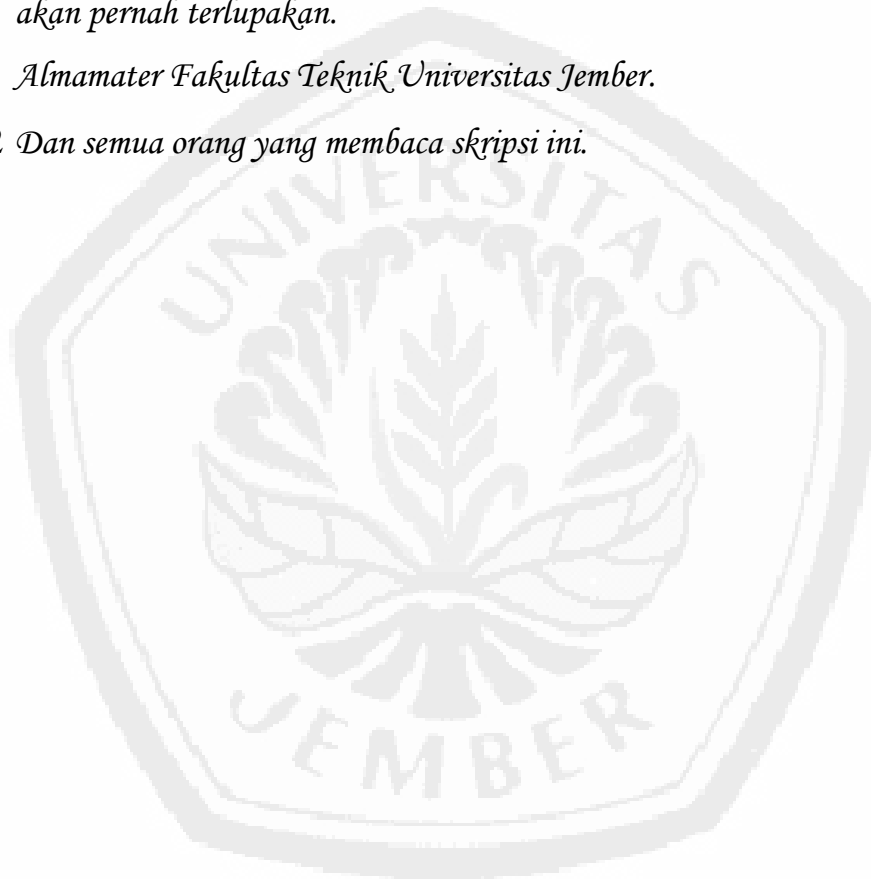
*atas rasa kekeluargaan, dukungan dan kebaikan yang mungkin tidak bisa aku membalas semuanya.*

*9 Juru kunci elektro 03 Awaludin "Aseng" Thamrin, Surya Dharma, Azhar Fuadi, Mahyudin Susanto, Arif Rahman Hakim.*

*10 Teman-teman S1 elektro '03 yang lain yang telah berjuang bersama-sama di almamater tercinta, kehidupan bersama kalian adalah kehidupan yang tidak akan pernah terlupakan.*

*11 Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.*

*12 Dan semua orang yang membaca skripsi ini.*



## MOTTO

**"Aku TAK SELALU MENDAPATKAN apa yang KUSUKAI, Oleh karena itu AKU SELALU MENYUKAI apapun yang aku DAPATKAN"**

**"Tidak mudah menemukan kebahagiaan didalam diri sendiri, dan tidak mungkin juga menemukannya di tempat lain..."**

**"Tak seorangpun dapat kembali dan mengubah masa lalu, tapi hari ini semua orang bisa memulai sesuatu dan menghasilkan akhir yang berbeda nantinya"**

**"Persahabatan adalah sebuah perwujudan kasih sayang yang terlewatkan dan cinta yang tak terungkap"**

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Wasito

NIM : 031910201058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: **Pemodelan Sistem Pemulihan Tegangan Kedip Dengan *Dynamic Voltage Restorer* Menggunakan Kendali *Fuzzy Logic Controller*** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 Januari 2011  
Yang menyatakan,

Mohammad Wasito  
NIM. 031910201058

# **SKRIPSI**

## **PEMODELAN SISTEM PEMULIHAN TEGANGAN KEDIP DENGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER MENGUNAKAN KENDALI FUZZY LOGIC CONTROLLER**



oleh:

**MOHAMMAD WASITO  
NIM 031910201058**

Pembimbing

Dosen pembimbing I : Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT.

Dosen pembimbing II : Dr. Triwahju Hardianto, ST. , MT.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Pemodelan Sistem Pemulihan Tegangan Kedip dengan Dynamic Voltage Restorer Menggunakan Kendali Fuzzy Logic Controller*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember Pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 13 Januari 2011

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Pembimbing Utama (Ketua Penguji)

Pembimbing Anggota (Sekretaris)

Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT.  
NIP. 19800610 200501 1 003

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT.  
NIP. 19700826 199702 1 001

Mengetahui,

Penguji I

Penguji II

R.B. Moch. Gozali, ST., MT.  
NIP. 19690608 199963 1 002

H. Samsul Bachri M. ST., MMT  
NIP. 19640317 199802 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP. 19610414 198902 1 001



# **Pemodelan Sistem Pemulihan Tegangan Kedip dengan Dynamic Voltage Restorer Menggunakan Kendali Fuzzy Logic Controller**

**Mohammad Wasito**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

## **ABSTRAK**

Desain algoritma untuk pengendalian dynamic voltage restorer (DVR) sehingga menghasilkan tanggapan yang cepat dan tepat dibahas dalam skripsi ini. Dynamic voltage restorer digunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan akibat tegangan kedip yang dapat mengganggu kinerja dari peralatan peralatan yang kritis atau peka. Performansi DVR ditunjukkan saat terjadi gangguan berupa tegangan kedip yang diakibatkan oleh gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah dan antarfasa pada beberapa titik pada sistem tenaga listrik. Pengendali yang diusulkan adalah Fuzzy Logic Controller yang kemudian dibandingkan dengan DVR dengan kendali PI. Proses simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB2009b dengan sistem tenaga listrik tegangan menengah.

**Kata-kunci:** *Dynamic voltage restorer (DVR), tegangan kedip, Fuzzy Logic Controller (FLC), beban sensitif.*

# **Modeling Voltage Sag Recovery System with Dynamic Voltage Restorer Using Fuzzy Logic Controller**

**Mohammad Wasito**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

## **ABSTRACT**

Design algorithms for controlling Dynamic Voltage Restorer (DVR) to produce a fast and accurate responses are discussed in this final project report. Dynamic Voltage Restorer used to improve the quality of the voltage due to voltage dips that can interfere with the performance of critical equipment or sensitive equipment. DVR performance is shown during a disturbance in the form of voltage dips caused by the interference of single phase to ground, two phase to ground, three phase to ground and phase to phase at some points on the power system. The proposed Controller is Fuzzy Logic Controller which then compared with DVR using PI controller. Simulation process using MATLAB 2009b with medium voltage electric power system.

**Keywords :** *Dynamic Voltage Restorer (DVR), voltage dip, Fuzzy Logic Controller (FLC), sensitive equipments.*

## RINGKASAN

**Pemodelan Sistem Pemulihan Tegangan Kedip dengan Dynamic Voltage Restorer Menggunakan Kendali Fuzzy Logic Controller ;** Mohammad Wasito; 031910201058; 2011; 69 halaman; Program Studi Strata Satu Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penyaluran energi listrik pada sistem distribusi baik di jaringan tegangan menengah maupun jaringan tegangan rendah perlu dijaga nilai kualitas dari daya yang akan disalurkan. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga nilai dari mutu listrik yang akan dipergunakan oleh konsumen yang memerlukannya. Adanya gangguan-gangguan yang sering terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik menyebabkan kualitas listrik yang akan disalurkan kepada konsumen menjadi terganggu. Gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik adalah gangguan yang bersifat sementara dan terjadi dalam waktu singkat yang disebut dengan tegangan kedip. Menurut standar IEEE 1195 (1995) besar jatuh tegangan dan durasi yang termasuk dalam kategori tegangan kedip adalah 0.1 sampai 0.9 per-unit (p.u.) yang terjadi selama 0.5 siklus sampai 1 menit.

Untuk mengatasi gangguan tegangan kedip ini digunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR). Perbaikan tegangan dengan DVR ini adalah dengan mengkompensasi nilai tegangan jatuh akibat gangguan dengan injeksi tegangan menggunakan inverter yang dimasukkan kedalam jala-jala melalui transformator seri. DVR yang diujikan pada tugas akhir ini adalah DVR menggunakan *Fuzzy Logic Controller* yang nantinya dibandingkan performansinya dengan DVR berbasis *PI Controller*. Pengujian dilakukan pada kondisi gangguan satu fasa ketanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah dan gangguan antar fasa.

*Fuzzy Logic Controller*(FLC) adalah suatu metode kontrol yang menggunakan tahapan himpunan (*Membership Function*), proses fuzzyfikasi, proses aturan fuzzy, dan proses defuzzyfikasi. FLC yang digunakan pada SRF akan menggantikan kontroler PI sebagai error kompensator dengan jumlah dan fungsi yang sama. Himpunan FLC dibuat sebanyak 2 buah yaitu masukan dan keluaran. *Membership Function input* dan *output* untuk masing-masing blok FLC

dibuat sebanyak 9 buah. Fuzyfikasi yang digunakan adalah metode Mamdani dengan defuzzyfikasi menggunakan *Centroid*.

Perancangan sistem dilakukan dengan software Matlab R2009a yang meliputi konfigurasi sistem jaringan 3 fasa dua saluran, pemodelan gangguan dan pemodelan SRF DVR. Kesimpulan yang diambil dari hasil simulasi adalah SRF DVR berbasis Fuzzy Logic Controller sedikit lebih baik daripada DVR menggunakan PI.



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat *Ilahi robbi* atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pemodelan Sistem Pemulihan Tegangan Kedip dengan Dynamic Voltage Restorer Menggunakan Kendali Fuzzy Logic Controller.*” Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

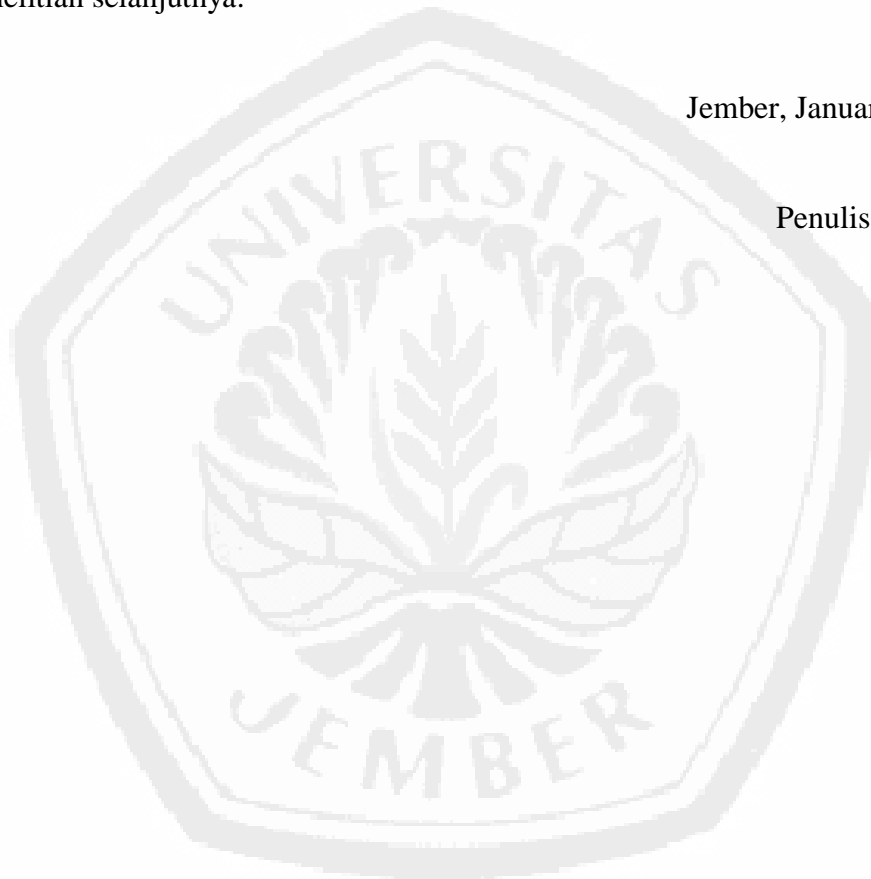
1. Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Sumardi, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember,
3. Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Triwahju Hardianto, ST. , MT, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan banyak waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. R.B. Moch. Gozali, ST., MT., dan H. Samsul Bachri M. ST. , MMT ., selaku Tim Penguji yang telah meluangkan banyak waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
5. Ayahanda Mujiono Syah dan Ibu Supiah, Mas Dany Mulyono dan Mas Achmad Sony, terima kasih atas doa, dukungan baik secara materi maupun moral, dukungan, kasih sayang serta doa restunya.
6. Teman – teman satu perjuangan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan bantuannya selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Teman – teman pengurus laboratorium, atas dukungan dan dorongan moral kalian sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

8. Pihak – pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro khususnya konsentrasi Sistem Tenaga. Kritik dan saran yang mambangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Jember, Januari 2011

Penulis



## DAFTAR ISI

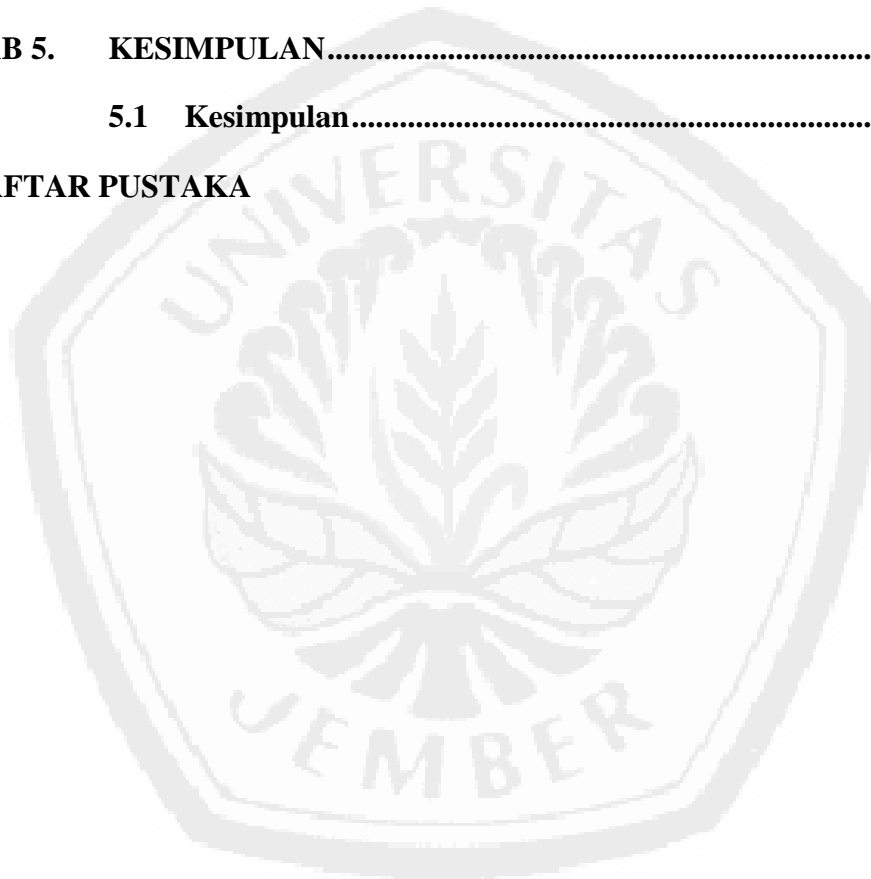
	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN BIMBINGAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Perumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat.....</b>	<b>2</b>
1.3.1 Tujuan.....	2
1.3.2 Manfaat.....	2
<b>1.4 Sistematika Penulisan.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Variasi Gangguan Tegangan Durasi Pendek .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Tegangan Kedip .....</b>	<b>4</b>

2.3	Parameter – Parameter Gangguan Tegangan Kedip...	8
2.4	Tegangan Kedip pada Gangguan Hubung Singkat.....	9
2.5	Tegangan Kedip pada Starting Motor Induksi.....	10
2.6	Kepekaan dan Karakteristik Peralatan Industri.....	11
2.7	Pemulihan Tegangan Kedip.....	12
2.8	Kendali Dynamic Voltage Restorer.....	13
2.8.1	Kendali PI.....	14
2.8.2	Kendali Fuzzy Logic Controller .....	15
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI .....</b>	<b>18</b>
3.1	Metodologi Penelitian.....	18
3.2	Konfigurasi Sistem Tenaga dengan DVR.....	19
3.2.1	Beban Sensitif.....	20
3.2.2	Penyimpanan Energi.....	21
3.2.3	Rangkaian Inverter 3 Fasa .....	21
3.2.4	Filter Inverter .....	22
3.2.5	Transformator Seri.....	23
3.3	Konfigurasi Regulator Tegangan DVR .....	24
3.3.1	Transformasi $V_{abc}$ ke $V_{dq0}$ .....	25
3.3.2	Transformasi $V_{dq0}$ ke $V_{abc}$ .....	28
3.3.3	Error Kompensator .....	29
3.3.3.1	PI Kontroller .....	29
3.3.3.2	Fuzzy Logic Controller .....	30
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS .....</b>	<b>34</b>
4.1	Gangguan Terjadi pada Jaringan Beban Sensitif .....	35



4.1.1	Pengujian Sistem dengan Gangguan Satu Fasa ke Tanah .....	37
4.1.1.1	Sistem Tanpa DVR .....	37
4.1.1.2	SRF dengan PI Kontroler .....	38
4.1.1.3	SRF dengan FLC.....	39
4.1.2	Pengujian Sistem dengan Gangguan Dua Fasa ke Tanah .....	40
4.1.2.1	Sistem Tanpa DVR .....	41
4.1.2.2	SRF dengan PI Kontroler .....	42
4.1.2.3	SRF dengan FLC.....	44
4.1.3	Pengujian Sistem dengan Gangguan Tiga Fasa ke Tanah .....	45
4.1.3.1	Sistem Tanpa DVR .....	46
4.1.3.2	SRF dengan PI Kontroler .....	46
4.1.3.3	SRF dengan FLC.....	48
<b>4.2</b>	<b>Gangguan Terjadi di Luar Jaringan Beban Sensitif....</b>	<b>35</b>
4.2.1	Pengujian Sistem dengan Gangguan Satu Fasa ke Tanah .....	51
4.2.1.1	Sistem Tanpa DVR .....	51
4.2.1.2	SRF dengan PI Kontroler .....	52
4.2.1.3	SRF dengan FLC.....	54
4.2.2	Pengujian Sistem dengan Gangguan Dua Fasa ke Tanah .....	55
4.2.2.1	SRF dengan PI Kontroler .....	56
4.2.2.2	SRF dengan FLC.....	57
4.2.3	Pengujian Sistem dengan Gangguan Tiga Fasa ke Tanah .....	58

4.2.3.1	SRF dengan PI Kontroler .....	58
4.2.3.2	SRF dengan FLC.....	61
4.2.4	Pengujian Sistem dengan Gangguan Antarfasa...	63
4.2.3.1	SRF dengan PI Kontroler .....	63
4.2.3.2	SRF dengan FLC.....	64
<b>4.3</b>	<b>Perbandingan Sistem.....</b>	<b>66</b>
<b>BAB 5.</b>	<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>68</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>68</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1 Kategori dan karakteristik Gangguan Kualitas Daya Listrik Menurut IEEE Std. 1159 – 1995 .....</b>	<b>5</b>
<b>Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Sistem DVR 3 Fasa .....</b>	<b>67</b>



## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Tegangan Kedip Instantaneous yang Disebabkan oleh Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	6
Gambar 2.2	Diagram vector dari tegangan kedip .....	6
Gambar 2.3	Bentuk Gelombang saat Terjadi tegangan Kedip.....	7
Gambar 2.4	Klasifikasi Besar dan Durasi dari Tegangan Standart IEEE	8
Gambar 2.5	Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Ganda.....	9
Gambar 2.6	Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang.....	9
Gambar 2.7	Rangkaian Ekuivalen Tegangan Kedip Akibat Starting Motor	10
Gambar 2.8	Grafik Tegangan Kedip akibat <i>Starting</i> Motor Induksi ...	11
Gambar 2.9	Grafik Kepekaan Peralatan Terhadap Tegangan Kedip....	12
Gambar 2.10	Prinsip kerja DVR.....	13
Gambar 2.11	Diagram Blok dan Realisasi Pengendali PI .....	14
Gambar 2.12	Proses Dalam FIS .....	16
Gambar 3.1	Diagram alir <i>Synchronous Reference Frame Controller</i> ..	18
Gambar 3.2	Diagram Prinsip Kerja DVR .....	19
Gambar 3.3	Diagram Blok Simulasi Sistem Tenaga dengan DVR .....	20
Gambar 3.4	Rangkaian Ekuivalen Beban Sensitif.....	20
Gambar 3.5	Pemodelan Rangkaian Inverter 3 Fasa.....	21
Gambar 3.6	Rangkaian Filter LC .....	22
Gambar 3.7	Blok Diagram DVR Tiga Fasa Menggunakan Regulator Tegangan .....	24
Gambar 3.8	Representasi Vektor Transformasi Clarke .....	25
Gambar 3.9	Representasi Vektor Transformasi Park.....	26
Gambar 3.10	Pemodelan Transformasi abc to dq0 .....	27
Gambar 3.11	Pemodelan Transformasi dq0 to abc .....	28
Gambar 3.12	Blok Diagram PI <i>controller</i> .....	29

Gambar 3.13	Fungsi Keanggotaan Input untuk FLC_d.....	30
Gambar 3.14	Fungsi Keanggotaan Input untuk FLC_q.....	31
Gambar 3.15	Fungsi Keanggotaan Output untuk FLC_d .....	31
Gambar 3.16	Fungsi Keanggotaan Output untuk FLC_q .....	32
Gambar 3.17	Setting Defuzzyfikasi pada Matlab .....	33
Gambar 4.1	Sistem dengan Gangguan Terjadi pada Jaringan Beban Sensitif.....	35
Gambar 4.2	Konfigurasi Regulator Tegangan dengan Kontroller PI ...	36
Gambar 4.3	Konfigurasi Regulator Tegangan dengan Kontroller FLC	36
Gambar 4.4	(a) Gelombang Tegangan Sumber untuk Sistem Tanpa DVR .....	37
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Tanpa DVR .....	37
Gambar 4.5	Grafik Tegangan Sumber saat Gangguan Satu Fasa ke Tanah	38
Gambar 4.6	Grafik Tegangan Injeksi oleh DVR berbasis PI.....	38
Gambar 4.7	Grafik Tegangan Beban Sensitif Sistem Menggunakan DVR dengan SRF kontroller PI.....	39
Gambar 4.8	Grafik Tegangan Injeksi oleh DVR berbasis PI.....	39
Gambar 4.9	Grafik Tegangan Beban Sensitif Sistem Menggunakan DVR dengan SRF FLC.....	39
Gambar 4.10	(a) Gelombang Tegangan Sumber untuk Sistem Tanpa DVR .....	41
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Tanpa DVR .....	41
Gambar 4.11	Nilai Tegangan RMS pada Beban Sensitif.....	41
Gambar 4.12	(a) Gelombang Tegangan Sumber untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF dengan Kontroller PI .....	42
	(b) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF dengan Kontroller PI.....	42
Gambar 4.13	Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF dengan Kontroller PI.....	43

Gambar 4.14	Nilai Tegangan RMS pada Beban Sensitif Menggunakan DVR dengan SRF berbasis PI .....	43
Gambar 4.15	(a) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Berbasis FLC .....	44
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Berbasis FLC .....	44
Gambar 4.16	Nilai Tegangan RMS pada Beban Sensitif Menggunakan DVR dengan SRF berbasis PI .....	45
Gambar 4.17	Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Tanpa DVR .....	46
Gambar 4.18	Geombang Tegangan Sumber saat Gangguan Tiga Fasa ke Tanah.....	46
Gambar 4.19	(a) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	47
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI.....	47
Gambar 4.20	(a) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Berbasis FLC .....	48
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Berbasis FLC .....	48
Gambar 4.21	Sistem dengan Gangguan Terjadi di Luar Jaringan Beban Sensitif.....	49
Gambar 4.22	Konfigurasi Regulator Tegangan dengan Kontroller PI ...	50
Gambar 4.23	Konfigurasi Regulator Tegangan dengan Kontroller FLC	50
Gambar 4.24	(a) Gelombang Tegangan Sumber untuk Sistem Tanpa DVR .....	51
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Tanpa DVR .....	51
Gambar 4.25	(a) Gelombang Tegangan Sumber .....	52

	(b) Gelombang Tegangan Beban pada Sumber Gangguan .....	52
Gambar 4.26	(a) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	53
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	53
Gambar 4.27	(a) Gelombang Tegangan Sumber .....	54
	(b) Gelombang Tegangan Beban pada Sumber Gangguan .....	54
Gambar 4.28	(a) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Berbasis FLC .....	55
	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Berbasis FLC .....	55
Gambar 4.29	(a) Gelombang Tegangan Beban di Sumber Gangguan untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	56
	(b) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	56
	(c) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	56
Gambar 4.30	(a) Gelombang Tegangan Beban di Sumber Gangguan untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF FLC .....	57
	(b) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF FLC .....	57
	(c) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF FLC .....	57
Gambar 4.31	(a) Gelombang Tegangan Sumber .....	58
	(b) Gelombang Tegangan Beban pada Sumber Gangguan .....	58
Gambar 4.32	(a) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI .....	59

	(b) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF Kontroller PI.....	59
Gambar 4.33	(a) Tegangan RMS pada Beban di Sumber Gangguan....	60
	(b) Tegangan RMS pada Beban Sensitif .....	60
Gambar 4.34	(a) Gelombang Tegangan Sumber untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF FLC .....	61
	(b) Gelombang Tegangan Injeksi untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF FLC .....	61
	(c) Gelombang Tegangan Beban Sensitif untuk Sistem Dengan DVR Menggunakan SRF FLC.....	61
Gambar 4.35	(a) Tegangan RMS pada Beban di Sumber Gangguan....	62
	(b) Tegangan RMS pada Beban Sensitif .....	62
Gambar 4.36	Gelombang Tegangan Beban Sensitif saat Gangguan Antarfasa .....	63
Gambar 4.37	Gelombang Tegangan Injeksi DVR menggunakan SRF berbasis PI.....	63
Gambar 4.38	Gelombang Tegangan Beban Sensitif saat dilindungi DVR menggunakan SRF berbasis PI.....	64
Gambar 4.39	Gelombang Tegangan Injeksi DVR menggunakan SRF berbasis FLC .....	64
Gambar 4.40	Gelombang Tegangan Beban Sensitif saat dilindungi DVR menggunakan SRF berbasis FLC.....	65