

PENGGUNAAN UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER UNTUK MENGOPTIMALKAN ALIRAN DAYA PADA JARINGAN TRANSMISI

**Tesis Yang Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Magister Teknik Elektro (MT)**



**Disusun oleh :
YANSEN SIHOMBING
1305190001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA**

2018

LEMBAR PERNYATAAN ASLI

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Yansen Sihombing

NIM : 1305190001

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Judul : Penggunaan Unified Power Flow Controller untuk mengoptimalkan
Aliran Daya Pada Jaringan Transmisi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonersia (UKI) Jakarta merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah

Apabila dikeudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tesis ini bukab hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang erlaku

Jakarta, 26 Januari 2018

Yansen Sihombing

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Saya yang bertandatangan dibawah ini, sebagai mahasiswa Universitas Kristen Indonesia :

Nama : Yansen Sihombing

NIM : 1305190001

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Kristen Indonesia Hak Bebas Royalty Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Penggunaan *Unified Power Flow Controller* Untuk Mengoptimalkan Aliran Daya Pada Jaringan Transmisi

Dengan Hak Bebas Roalty Non-Eksklusif ini, Universitas Kristen Indonesia berhak , menyimpan, menyalin-mediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (data base), mendistribusikannya, menampilkan di Internet atau media lain untuk kepentingan akademik tanpa mperlu minta izin dari saya selama tetap mencantumkan saya sebagai penulis/pencipta

Saya bersedia untuk menanggung tanpa melibatkan pihak Universitas Kristen Indonesia segala bentuk tuntutan yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini

Demikian pernaytaan ini saya buat dengan sebenarnya

Jakarta, 26 Januari 2018

Yansen Sihombing

ABSTRAK

Penyaluran daya listrik dari pembangkit sampai konsumen atau beban adalah hal yang sangat penting, namun daya penyaluran daya dapat menyebabkan rugi-rugi daya pada sistem yang cukup besar. Dilain pihak keterbatasan kapasitas sumber daya listrik dan manajemen penyaluran yang kurang tepat yaitu ada saluran transmisi yang penyalurannya melebihi kapasitasnya dan ada juga kurang dengan demikian perlu pengaturan aliran dayanya, supaya pengoperasian transmisi daya dapat bekerja secara tepat untuk menjaga kualitas pelayanan daya.

Dengan berkembang teknologi elektronika daya khususnya teknologi *flexible AC transmission system* (FACTS) dimana *FACTS* ini memiliki beberapa jenis dengan fungsi yang berbeda-beda sesuai fungsinya antara lain dapat mengontrol aliran daya. Pada penelitian ini, jenis yang digunakan adalah *unified power flow controller* (UPFC) yang mengontrol daya aktif dan reaktif. Pada penelitian ini, studi aliran daya dieksekusi dengan perangkat lunak Matlab.

Penelitian ini memperoleh hasil bahwa dengan peletakan UPFC yang tepat dapat mengontrol aliran daya dan pelayanan beban sebesar 100% tanpa menambah pembangkitan, serta dapat menurunkan rugi-rugi total daya aktif pada saluran transmisi sebesar 29,27%.

Kata kunci : Aliran daya, *unified power flow controller* (UPFC), Matlab

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa oleh karena anugerah dari-NYA kami dapat menyelesaikan Tesis Pascasarjana Magister Teknik Elektro dengan judul “Penggunaan *Unified Power Flow Controller* Untuk Mengoptimalkan Aliran Daya Pada Jaringan Transmisi”

Selama pembuatan Tesis ini, kami juga mendapat banyak dukungan dan juga bantuan dari berbagai pihak . Oleh karena itu, kami menghaturkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Atmonobudi Soebagio, Ph.D. selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran dan juga ide
2. Bapak Ir. Bambang Widodo, MT selaku Pembimbing II, yang memberikan masukan, pengarahan dan dorongan kepada penulis
3. Para Dosen yang telah banyak memberikan materi pendukung, masukan dan bimbingan yang bermanfaat kepada penulis
4. Istri penulis, Dra, Pudji Basania Pakpahan SE, yang dengan setia dan tidak lelah membantu sehingga Tesis ini bisa selesai, juga kepada anak kami Jessica PCN Sihombing yang juga turut membantu dalam pengerjaan Tesis ini

Kami menyadari bahwa Tesis ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari para pembaca yang budiman sangat dibutuhkan untuk penyempurnaan Tesis ini.

Jakarta, 26 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN.....	ix
DAFTAR ISI.....	x

Bab I PENDAHULUAN

1. I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	1
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
I.5 Sistematika Penulisan	2

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Peralatan Flexible Alternating Current Transmission System	4
2.2 Jenis Peralatan control <i>FACTS</i>	5
2.2.1 Peralatan <i>Thyristor Valves</i>	6
2.2.2 Peralatan <i>Voltage Source Converter</i>	9
2.3 Peralatan <i>Unified Power Flow Controller</i>	15
2.4 Power Injection Model dari <i>UPFC</i>	24
2.5 Model Injeksi dari <i>UPFC</i> untuk Studi Aliran Daya	28

BAB III METODE PENELITIAN DAN PERSIAPAN SIMULASI

3.1Metode Penelitian.....	32
3.2Sistem Jaringan Transmisi.....	34
3.3 Perangkat Lunak DalamSimulasi	35
3.4Spesifikasi Peralatan.....	35
3.5Pengoperasian UPFC pada jaringan IEEE-5 Bus System	36

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1UPFC Dipasang Pada Saluran 1	38
4.2 Analisa JaringanTransmisi Dimana <i>UPFC</i> Dipasang Pada Saluran 1	41
4.3 <i>UPFC</i> Dipasang Pada Saluran 2.....	42
4.4 Analisa JaringanTransmisi Dimana <i>UPFC</i> Dipasang Pada Saluran 2.....	44
4.5 <i>UPFC</i> Dipasang Pada Saluran 3.....	45
4.6 Analisa JaringanTransmisi Dimana <i>UPFC</i> Dipasang Pada Saluran 3....	47

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	49
----------------------	----

DAFTAR PUSTAKA	50
-----------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perbandingan Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif.....	37
Tabel 4.1. Aliran daya setiap bus tanpa UPFC dan UPFC di Saluran L1.....	48
Tabel 4.2. Aliran daya setiap bus tanpa UPFC dan UPFC di Saluran L2.....	50
Tabel 4.3. Aliran daya setiap bus tanpa UPFC dan UPFC di Saluran L3.....	52
Tabel 4.4. Perubahan aliran daya UPFC di Saluran L1.....	54
Tabel 4.5. Perubahan aliran daya UPFC di Saluran L2	54
Tabel 4.7. Perubahan aliran daya UPFC di Saluran L3	55
Tabel 4.7. Rugi-rugi daya sistem UPFC di Saluran L1	56
Tabel 4.8. Rugi-rugi daya sistem UPFC di Saluran L2	56
Tabel 4.9. Rugi-rugi daya sistem UPFC di Saluran L3	57

DAFTAR SINGKATAN

V_i	Besar tegangan pada bus i
V_j	Besar tegangan pada bus j
θ_i	Sudut fasa dari tegangan bus i
θ_j	Sudut fasa dari tegangan bus j
θ_{ij}	Perbedaan sudut fasa dari tegangan bus i dan j
$\Delta\theta$	Vektor perubahan penambahan besar sudut fasa dari tegangan titik
V_{se}	Tegangan keluaran dari cabang seri UPFC
V_{sh}	Tegangan keluaran dari cabang UPFC shunt
ΔV	Vektor perubahan penambahan besar tegangan titik
I	Sumber arus paralel dengan saluran transmisi
I_{ij}	Arus mengalir dari bus i ke bus j
r	Tegangan keluaran dalam per unit dari cabang seri UPFC
γ	Perbedaan sudut fasa antara V_i dan V_j
X_{seupfc}	Reaktansi bocor dari trafo kopling seri dari UPFC
b_{tr}	Suseptansi dari trafo kopling seri
G	Konduktansi dari jaringan
B	Suseptansi jaringan
$S_{ise,upfc}$	Daya kompleks ekivalen yang diinjeksikan masuk bus i oleh cabang seri UPFC
$S_{jsh,upfc}$	Daya kompleks ekivalen yang diinjeksikan masuk bus j oleh cabang shunt UPFC
$P_{ise,upfc}$	Daya nyata ekivalen masuk bus i oleh cabang seri UPFC
$P_{sh,upfc}$	Daya nyata ekivalen masuk bus j oleh cabang shunt UPFC
Q_{seupfc}	Daya reaktif ekivalen masuk bus i oleh cabang seri UPFC
Q_{shupfc}	Daya reaktif ekivalen masuk bus j oleh cabang shunt UPFC
P_{shupfc}	Daya nyata terkirim yang diserap oleh cabang shunt UPFC
P_{seupfc}	Daya nyata terkirim yang diserap oleh cabang seri UPFC

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tinjauan peralatan <i>Flexible Alternating Current Transmission System</i>	6
Gambar 2.2 <i>Thyristor Controlled Reactor (TCR)</i>	7
Gambar 2.3 <i>Thyristor Controlled SeriesCompensator (TCSC)</i>	8
Gambar 2.4 Gambar <i>Static Synchronous Compensator (STATCOM)</i>	11
Gambar 2.5 Mode operasi Static Synchronous Compensator.....	13
Gambar 2.6 Static Synchronus Series Compensator.....	15
Gambar 2.7 Diagram Fasor Static Synchronus Series Compensato.....	16
Gambar 2.8 Diagram Skematik dari <i>Unified Power Flow Controller</i>	20
Gambar 2.9 Fungsi Dasar Kontrol Dari <i>Unified Power Flow Controller</i>	21
Gambar 2.10 (a) sistim sederhana 2 mesin (b) hubungan fasor tegangan.....	23
Gambar 2.11 Sistem 2 mesin dengan <i>Unified Power Flow Controller</i>	24
Gambar 2.12 Representasi dari VSC dihubungkan Seri	28
Gambar 2.13 Penggantian sumber tegangan seri dengan sumber arus.....	28
Gambar 2.14 Model Injeksi Untuk VSC Seri	29
Gambar 2.15 Gambar Pengganti dari Sumber Tegangan Seri dengan Sumber Arus	31
Gambar 2.16 Matematik Unified Power Flow Controller keadaan tunak	34
Gambar 3.1 IEEE – 5 Bus System	40
Gambar 3.2 Unified Power Flow Controller pada perangkat lunak MatlabR2013a	42
Gambar 3.3 Unit Lump sistem equivalent 500 kV, 15.000 MVA.....	44
Gambar 3.4 Pembangkit Listrik.....	44
Gambar 3.5 Trafo pada Matlab.....	45
Gambar 3.6 Contoh Grafik Daya Output dari Unified Power Flow Controller.....	46
Gambar 3.7 Blok matematik utk Unified Power Flow Controller pada Matlab.....	47
Gambar 4.1. Aliran Daya Pada Sistem Daya Listrik Tanpa dan Dengan UPFC di Saluran L1...	49
Gambar 4.2. Aliran Daya Pada Sistem Daya Listrik Tanpa dan Dengan UPFC di Saluran L2.....	51
Gambar 4.3. Aliran Daya Pada Sistem Daya Listrik Tanpa dan Dengan UPFC di Saluran L3.....	53