



**Institut Teknologi Nasional Malang**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**PENGGUNAAN *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER*  
(UPFC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN  
PADA SISTEM KELISTRIKAN 150 KV BALI**

**I Gusti Agung Rai Yuda Wardana  
NIM 1912010**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Februari, 2024**



**Institut Teknologi Nasional Malang**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**PENGUNAAN *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER*  
(UPFC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN  
PADA SISTEM KELISTRIKAN 150 KV BALI**

I Gusti Agung Rai Yuda Wardana  
NIM 1912010

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Februari, 2024

**LEMBAR PENGESAHAN  
PENGUNAAN *UNIFIED POWER FLOW  
CONTROLLER* (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN  
PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN  
150 KV BALI**

**SKRIPSI**

**I GUSTI AGUNG RAI YUDA WARDANA  
NIM 1912010**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi Teknik Elektro S-1  
Peminatan Energi Listrik  
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.  
NIP. 19610503 199202 1 001

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr. Imalia Surtani Faradisa, ST., MT.  
NIP.P. 1030000365

MALANG  
Februari, 2024



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NAGA MALANG

Kampus I : J. Bendungan Sipinagara No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553215 Malang 65145  
Kampus II : J. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : I Gusti Agung Rai Yuda Wardana  
NIM : 1912010  
Program Studi : Teknik Energi Listrik S-1  
Peminatan : Energi Listrik  
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2023-2024  
Judul Skripsi : Penggunaan Unified Power Flow Controller (UPFC) Untuk Meningkatkan Profil Tegangan Pada Sistem Kelistrikan 150 kV Bali

Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 7 Februari 2024  
Nilai : **81,20%**

Panitia Ujian Skripsi

Majelis Ketua Penguji

Dr. Irmalina Suryani Faradisa, ST., MT.

NIP. P. 1030000365

Sekretaris Majelis Penguji

Sotvohadi, ST., MT.

NIP. Y. 1039700309

Anggota Penguji

Dosen Penguji I

Dr. Irriye Budi Sulistiawati, ST., MT.

NIP. 19770615 200501 2 002

Dosen Penguji II

Prof. Dr. Eng. Ir Abraham Lomi, MSEE

NIP. Y. 1018500108

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa oleh anugrah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia yang besar, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bentuk pembelajaran. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Karena itu, tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT Selaku Dosen Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang serta Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa selalu membimbing dengan sepenuh penuh hati.
2. Ibu Dr. Irmalina Suryani Faradisa, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
3. I Gusti Ketut Ardana (Ayah) & Ni Ketut Suratini (Ibu) yang senantiasa memanjatkan doa dan memberikan dukungan baik berupa moril dan materil.
4. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro S1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
5. Khususnya kepada sahabat-sahabat saya yaitu Billy, Juan, Bashori, Naomi, dan Antonius yang telah membantu dan mendorong agar saya menyelesaikan skripsi ini hingga selesai.
6. Teman – teman Teknik Elektro S-1 ITN Malang yang selalu mendukung satu sama lain.

Penulis menyadari tanpa bantuan dan dukungan dari pihak yang terkait, penyelesaian skripsi ini tidak dapat tercapai dengan baik, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perkembangan skripsi ini serta bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : I Gusti Agung Rai Yuda Wardana  
NIM : 1912010  
Jurusan / Peminatan : Teknik Energi Listrik S-1  
ID KTP / Paspor : 5103061412000003  
Alamat : Br. Tajen Dauh Yeh  
Judul Skripsi : Penggunaan Unified Power Flow Controller (UPFC) Untuk Meningkatkan Profil Tegangan Pada Sistem Kelistrikan 150 kV Bali

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Februari 2024

Yang membuat pernyataan



(I Gusti Agung Rai Yuda Wardana)

1912010

## ABSTRAK

### PENGGUNAAN *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER* (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN 150 KV BALI

I GUSTI AGUNG RAI YUDA WARDANA

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.

*Abstract*—Kinerja sistem tenaga listrik akan rendah apabila sistem transmisi mengalami penurunan profil tegangan yang menyebabkan ketidakmampuan sistem mempertahankan tegangan sesuai batas yang diijinkan serta mengalami penurunan rugi-rugi saluran yang besar. Hal ini akan berdampak pada penurunan daya aktif (MW) maupun daya reaktif (Mvar) sistem yang disalurkan ke beban. Salah satu metode alternatif untuk meningkatkan kinerja sistem adalah dengan memasang peralatan kendali modern yang memiliki kualitas, efektivitas, dan efisiensi tinggi yaitu peralatan *Flexible Alternating Current Transmission system* (FACTS). Peralatan ini mampu merancang, mengendalikan dan mengoperasikan sistem dengan melibatkan komponen *solid state* secara akurat (*precisely*) dan fleksibel. Dalam penelitian ini salah satu peralatan FACTS yaitu *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dipasang pada jaringan tenaga listrik untuk meningkatkan kinerja sistem. Peralatan UPFC merupakan gabungan dari *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) dan *Static Synchronous Series Compensator* (SSSC) yang dapat mengontrol tegangan dan aliran daya pada sistem dengan menempatkannya pada lokasi dan kapasitas yang tepat dengan menggunakan metode studi stabilitas tegangan statis yaitu *Continuation Power Flow* (CPF). CPF juga dapat menunjukkan peningkatan stabilitas statis tegangan setelah pemasangan UPFC. Efektivitas metode yang diusulkan telah disimulasikan pada sistem kelistrikan Bali 16-bus untuk menyelidiki peningkatan kinerja dan kapasitas pembebanan sistem. Dari simulasi yang dilakukan dengan memasang pengendali modern tersebut di lokasi terbaik yaitu pada bus 07 NEGARA dengan kapasitas UPFC 60 Mvar maka peningkatan margin daya tahan sistem hampir mencapai 9,70% dibandingkan kondisi *basecase* (tanpa FACTS) yaitu sebesar  $\lambda_{\max} = 1,6171$  p.u dengan profile tegangan meningkat secara signifikan dan rugi-rugi saluran tereduksi.

Kata Kunci—CPF, Profil tegangan, Stabilitas tegangan statis, UPFC

## **ABSTRACT**

### **USE OF UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) TO INCREASE VOLTAGE PROFILE IN BALI'S 150 KV ELECTRICITY SYSTEM**

**I GUSTI AGUNG RAI YUDA WARDANA**

**Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.**

*Abstract—The performance of the electric power system will be low if the transmission system experiences a decrease in the voltage profile which causes the system to be unable to maintain voltage within the permitted limits and experiences a large decrease in line losses. This will have an impact on reducing the active power (MW) and reactive power (Mvar) of the system that is distributed to the load. One alternative method to improve system performance is to install modern control equipment that has high quality, effectiveness and efficiency, namely Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) device. This device is capable of designing, controlling and operating systems involving solid state components accurately and flexibly. In this research, one of the FACTS device, namely the Unified Power Flow Controller (UPFC), was installed on the electric power network to improve system performance. The UPFC device is a combination of Static Synchronous Compensator (STATCOM) and Static Synchronous Series Compensator (SSSC) which can control the voltage and power flow in the system by placing it in the right location and capacity using the static voltage stability study method, namely Continuation Power Flow (CPF). The CPF can also show an increase in voltage static stability after the UPFC installation. The effectiveness of the proposed method has been simulated on a 16-bus Bali electrical system to best the performance and load capacity improvements of the system. From the simulation carried out by installing the modern controller in the best location, namely on the 07 NEGARA bus with a UPFC capacity of 60 Mvar, the increase in the system durability margin is almost 9.70% compared to the base case condition (without FACTS), namely  $\lambda_{max} = 1.6171$  p.u with the voltage profile is significantly improved and line losses are reduced.*

*Keywords—CPF, Voltage profile, Static voltage stability, UPFC*



# DAFTAR ISI

|   |           |
|---|-----------|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                               | <b>v</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                   | <b>vi</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                | <b>ix</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                 | <b>xi</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                            | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                  | 1         |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                 | 2         |
| 1.3 Tujuan .....  | 2         |
| 1.4 Manfaat .....   | 2         |
| 1.5 Batasan Masalah .....                                 | 2         |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                           | 3         |
| <b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....                        | <b>5</b>  |
| 2.1 Sistem Tenaga Listrik .....                           | 5         |
| 2.1.1 Penyaluran Transmisi dan Distribusi .....           | 5         |
| 2.1.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik .....               | 6         |
| 2.1.3 Penggolongan Sistem Transmisi .....                 | 7         |
| 2.1.4 Beban .....   | 10        |
| 2.2 Rugi-Rugi Sistem Tenaga Listrik .....                 | 11        |
| 2.2.1 Rugi-Rugi Saluran .....                             | 12        |
| 2.2.2 <i>Voltage Drop</i> .....                           | 14        |
| 2.3 Studi Aliran Daya ( <i>Load Flow Analysis</i> ) ..... | 15        |
| 2.3.1 <i>Slack Bus</i> (Bus Referensi) .....              | 16        |
| 2.3.2 <i>Voltage Controller Bus</i> (Bus Generator) ..... | 16        |
| 2.3.3 <i>Load Bus</i> (Bus Beban) .....                   | 17        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.4 Daya Listrik .....  | 18        |
| 2.3.5 <i>Toolbox</i> PSAT .....   | 18        |
| 2.4 Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik .....   | 19        |
| 2.4.1 <i>Continuation Power Flow (CPF)</i> .....  | 20        |
| 2.4.2 Kurva PV .....  | 22        |
| 2.4.3 <i>Voltage Collapse</i> .....   | 23        |
| 2.5 <i>Flaxible Alternating Current Transmission System</i><br>(FACTS) .....                                  | 23        |
| 2.5.1 <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i> .....   | 25        |
| 2.5.2 Kontruksi UPFC .....  | 27        |
| 2.5.3 <i>Prinsip Kerja</i> UPFC .....   | 28        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>  | <b>31</b> |
| 3.1 Alur Penelitian .....   | 31        |
| <b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL .....</b>  | <b>35</b> |
| 4.1 <i>Single Line Diagram</i> PT PLN (Persero) UP2B Bali<br>150 kV .....                                     | 36        |
| 4.1.1 Data Penelitian .....   | 37        |
| 4.1.2 Data Beban .....  | 37        |
| 4.1.3 Data Pembangkit. ....   | 38        |
| 4.1.4 Data Saluran .....  | 39        |
| 4.1.5 Data Kapasitor .....  | 40        |
| 4.2 Pemodelan <i>Single Line Diagram</i> dan Input Data Sistem<br>pada Subsistem Bali Dengan Menggunakan PSAT |           |
| 2.1.11 .....  | 41        |
| 4.2.1 Input Data pembangkit .....   | 43        |
| 4.2.2 Input Data Beban .....  | 44        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.3 Input Data Saluran.....   | 45        |
| 4.2.4 Input Data Kapasitor .....  | 46        |
| 4.2.5 Input Data UPFC .....   | 47        |
| 4.3 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Pada kondisi                                     |           |
| <i>Base Case</i> .....  | 48        |
| 4.3.1 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Setelah<br>Pemasangan UPFC <i>Case 1</i> ..... | 49        |
| 4.3.2 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Setelah<br>Pemasangan UPFC <i>Case 2</i> ..... | 51        |
| 4.3.3 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Setelah<br>Pemasangan UPFC <i>Case 3</i> ..... | 52        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>63</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 63        |
| 5.2 Saran .....   | 63        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>   |           |
| <b>LAMPIRAN</b>   |           |

## DAFTAR GAMBAR

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Gambar 2. 1</b>  | Skema Penyaluran Distribusi Tenaga Listrik .....   | 6  |
| <b>Gambar 2. 2</b>  | Rangkaian Ekuivalen Saluran Pendek .....   | 8  |
| <b>Gambar 2. 3</b>  | Rangkaian Nominal Suatu Saluran Transmisi Jarak<br>Menengah .....                          | 10 |
| <b>Gambar 2. 4</b>  | Contoh Saluran Sederhana .....   | 13 |
| <b>Gambar 2. 5</b>  | Rangkaian saluran sederhana .....  | 14 |
| <b>Gambar 2. 6</b>  | Urutan Perhitungan Analisa Continuation Power Flow ..                                      | 21 |
| <b>Gambar 2. 7</b>  | Karakteristik Kurva PV .....   | 22 |
| <b>Gambar 2. 8</b>  | Blok Diagram Pada FACTS Controller .....   | 24 |
| <b>Gambar 2. 9</b>  | Control UPFC .....   | 25 |
| <b>Gambar 2. 10</b> | Skema Gambar UPFC .....  | 26 |
| <b>Gambar 2. 11</b> | Skema UPFC Yang Terhubung Ke Saluran Sistem<br>Tenaga Listrik .....                        | 28 |
| <b>Gambar 2. 12</b> | Model UPFC .....   | 29 |
| <b>Gambar 3. 1</b>  | Flow Chart Penelitian .....  | 33 |
| <b>Gambar 4. 1</b>  | Single Line Diagram PT PLN (Persero) UP2B Bali .....                                       | 36 |
| <b>Gambar 4. 2</b>  | Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Bali<br>16-Bus Pada PSAT 2.1.11 .....               | 42 |
| <b>Gambar 4. 3</b>  | Tampilan Pembangkit atau Generator pada PSAT .....   | 43 |
| <b>Gambar 4. 4</b>  | Tampilan Input Data Sumber .....   | 43 |
| <b>Gambar 4. 5</b>  | Tampilan Beban pada PSAT .....   | 44 |
| <b>Gambar 4. 6</b>  | Tampilan Input Data Beban .....  | 44 |
| <b>Gambar 4. 7</b>  | Tampilan Saluran pada PSAT .....   | 45 |
| <b>Gambar 4. 8</b>  | Tampilan Input Data Saluran .....  | 45 |
| <b>Gambar 4. 9</b>  | Tampilan Kapasitor pada PSAT .....   | 46 |
| <b>Gambar 4. 10</b> | Tampilan Input Data Kapasitor .....  | 46 |
| <b>Gambar 4. 11</b> | Tampilan UPFC pada PSAT .....  | 47 |
| <b>Gambar 4. 12</b> | Tampilan Input Data UPFC .....   | 47 |
| <b>Gambar 4. 13</b> | Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan<br>Bali 16-Bus Kondisi Base Case .....       | 48 |
| <b>Gambar 4. 14</b> | Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali<br>16-bus Kondisi Base Case .....               | 49 |
| <b>Gambar 4. 15</b> | Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan<br>Bali 16-Bus Dengan UPFC Pada Bus 02 ..... | 50 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Gambar 4. 16</b> | Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Dengan UPFC Pada bus 02 .....                  | 50 |
| <b>Gambar 4. 17</b> | Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-Bus Dengan UPFC Pada Bus 07.....           | 51 |
| <b>Gambar 4. 18</b> | Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Dengan UPFC Pada bus 07.....                   | 52 |
| <b>Gambar 4. 19</b> | Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-Bus Dengan UPFC Pada Bus 12.....           | 53 |
| <b>Gambar 4. 20</b> | Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Dengan UPFC Pada bus 12 .....                  | 53 |
| <b>Gambar 4. 21</b> | Gambar Perbandingan $\lambda_{maks}$ Sebelum dan Seseudah Pemasangan UPFC .....                  | 54 |
| <b>Gambar 4. 22</b> | Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan UPFC Pada Bus 02 Asari.....   | 55 |
| <b>Gambar 4. 23</b> | Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan UPFC Pada Bus 07 Negara.....  | 56 |
| <b>Gambar 4. 24</b> | Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan UPFC Pada Bus 12 Pyngan ..... | 57 |
| <b>Gambar 4. 25</b> | Grafik Perbandingan Case 1-3 .....   | 58 |
| <b>Gambar 4. 26</b> | Grafik Perbandingan Total Daya Aktif dan Reaktif .....   | 62 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Perbandingan PSAT Dengan Toolbox Berbasis MATLAB<br>Lainnya .....                            | 19 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Data Beban Subsistem Bali 150 kV .....   | 37 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Data Pembangkit Bali 150 kV .....  | 38 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Data Saluran Subsistem Bali 150 kV .....   | 39 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Data Saluran Subsistem Bali 150 kV Lanjutan .....  | 40 |
| <b>Tabel 4. 5</b> Data Kapasitor Subsistem Bali 150 kV .....   | 40 |
| <b>Tabel 4. 6</b> $\lambda_{max}$ Kondisi Base Case dan Setelah Pemasangan UPFC ..                             | 54 |
| <b>Tabel 4. 7</b> Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah<br>Pemasangan UPFC Pada Bus 02 ASARI .....  | 55 |
| <b>Tabel 4. 8</b> Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah<br>Pemasangan UPFC Pada Bus 07 NEGARA ..... | 56 |
| <b>Tabel 4. 9</b> Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah<br>Pemasangan UPFC Pada Bus 12 PYNGAN ..... | 57 |