

## DAFTAR ISI

|                                       | Halaman      |
|---------------------------------------|--------------|
| Halaman Judul.....                    | i            |
| Lembar Pengesahan.....                | ii           |
| Lembar Keaslian Skripsi.....          | iii          |
| Ucapan Terima kasih.....              | iv           |
| Daftar Isi .....                      | v            |
| Daftar Gambar .....                   | xi           |
| Daftar Tabel .....                    | xiv          |
| Abstrak .....                         | xvi          |
| <br><b>BAB I    PENDAHULUAN .....</b> | <br><b>1</b> |
| 1.1. Latar Belakang .....             | 1            |
| 1.2. Tujuan Penulisan .....           | 2            |
| 1.3. Batasan Masalah .....            | 2            |
| 1.4. Metode Penulisan .....           | 2            |
| 1.5. Sistematika Penulisan .....      | 3            |

## **BAB II        UNIFIED POWER FLOW CONTRLLER (UPFC)**

|                                                                 |          |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| <b>SECARA UMUM .....</b>                                        | <b>5</b> |
| 2.1. Fungsi dan prinsip kerja UPFC .....                        | 5        |
| 2.1.1 Flexible AC Transmission System (FACTS) .....             | 5        |
| 2.1.2 UPFC pada saluran transmisi .....                         | 9        |
| 2.1.3 Prinsip pengoperasian UPFC .....                          | 11       |
| 2.2. Penempatan UPFC dalam sistem tenaga listrik .....          | 12       |
| 2.3. Pengaruh UPFC terhadap aliran daya dan profil tegangan ... | 13       |
| 2.3.1 Kompensasi .....                                          | 13       |
| 2.3.2.1 Kompensasi reactor shunt .....                          | 15       |
| 2.3.2.1.1 Pengaruh kompensasi shunt                             |          |
| Terhadap tegangan.....                                          | 16       |
| 2.3.2.1.2 Pengaruh reactor shunt                                |          |
| Terhadap penyaliran daya.....                                   | 16       |
| 2.3.2.2 Kompensasi seri.....                                    | 17       |
| 2.3.2.2.1 Pengaruh kapasitor shunt                              |          |
| Terhadap tegangan.....                                          | 19       |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2.2 Pengaruh kapasitor seri                           |    |
| Terhadap penyaluran daya .....                            | 20 |
| 2.4. Load Flow .....                                      | 21 |
| 2.4.1 Umum .....                                          | 21 |
| 2.4.2 Formulasi model jaringan .....                      | 23 |
| 2.4.3 Persamaan aliran beban dan metoda penyelesaiannya   | 27 |
| 2.4.4 Proil tegangan .....                                | 29 |
| 2.5 Studi aliran beban dengan metoda Newton Raphson ..... | 30 |

### **BAB III STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK YANG MENGGUNAKAN**

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) .....</b>   | <b>37</b> |
| 3.1. Sistem tenaga listrik tanpa UPFC dilihat dari  |           |
| Stabilitas statis .....                             | 37        |
| 3.2. Sistem tenaga listrik tanpa UPFC dilihat dari  |           |
| Stabilitas transien .....                           | 39        |
| 3.3 Sistem tenaga listrik dengan UPFC dilihat dari  |           |
| Stabilitas statis .....                             | 41        |
| 3.4. Sistem tenaga listrik dengan UPFC dilihat dari |           |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Stabilitas transien .....                     | 42 |
| 3.5. Rancangan vector tanpa UPFC .....        | 43 |
| 3.5.1 vektor tanpa UPFC dengan 2 sirkit ..... | 44 |
| 3.5.2 Vektor tanpa UPFC dengan 1 sirkit ..... | 44 |
| 3.6 Rancangan vektor menggunakan UPFC .....   | 45 |
| 3.6.1 Vektor menggunakan UPFC dengan 1 sirkit |    |
| Pada sistem kecil .....                       | 46 |
| 3.6.2 Vektor menggunakan UPFC dengan 1 sirkit |    |
| Pada sistem besar .....                       | 46 |

#### **BAB IV      SIMULASI PEMASANGAN UNIFIED POWER FLOW**

##### **CONTROLLER (UPFC) PADA SALURAN TRANSMISI 500 kV**

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Region Satu Jawa Bali .....</b>                                | <b>48</b> |
| 4.1 Saluran transmisi 500 kV region satu Jawa Bali tanpa UPFC ... | 48        |
| 4.1.1 Data bus transmisi 500 kV region Satu Jawa Bali .....       | 49        |
| 4.1.2 Data saluran transmisi 500 kV region satu Jawa Bali ....    | 50        |
| 4.1.3 Data panjang saluran transmisi 500 kV region satu           |           |
| Jawa Bali .....                                                   | 51        |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.4 Nilai tegangan setiap bus transmisi 500 kV                    |    |
| region satu Jawa Bali .....                                         | 52 |
| 4.1.5 Aliran daya pada saluran transmisi tanpa UPFC .....           | 53 |
| 4.1.6 Rugi – rugi daya pada saluran transmisi tanpa UPFC ..         | 54 |
| 4.2 Saluran transmisi 500 kV region satu Jawa Bali dengan UPFC ...  | 56 |
| 4.2.1 Data bus transmisi 500 kV region satu setelah                 |    |
| penambahan UPFC .....                                               | 57 |
| 4.2.2 Data saluran transmisi 500 kV region satu Jawa Bali ...       | 58 |
| 4.2.3 Data panjang saluran transmisi 500 kV region satu             |    |
| Jawa Bali dengan UPFC .....                                         | 59 |
| 4.2.4 Nilai tegangan setiap bus transmisi 500 kV region satu        |    |
| dengan UPFC .....                                                   | 60 |
| 4.2.5 Aliran daya pada saluran transmisi dengan UPFC .....          | 61 |
| 4.2.6 Rugi – rugi daya pada saluran transmisi dengan                |    |
| UPFC .....                                                          | 62 |
| 4.3. Perbandingan Nilai Tegangan Sistem 500 kV dan Rugi – Rugi Daya |    |
| Pada Saluran Transmisi 500 kV Region Satu Jawa Bali .....           | 64 |
| 4.3.1 Perbandingan nilai tegangan sistem sebelum penambahan         |    |

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| UPFC dan sesudah penambahan UPFC .....                 | 65        |
| 4.3.2 Perbandingan rugi – rugi daya sebelum penambahan |           |
| UPFC dan sesudah penambahan UPFC .....                 | 69        |
| <b>BAB V KESIMPULAN .....</b>                          | <b>71</b> |
| Daftar Pustaka .....                                   | 73        |
| Lampiran A Data Tanpa UPFC .....                       | 74        |
| Lampiran B Data Dengan UPFC .....                      | 83        |
| Daftar Konsultasi Skripsi .....                        | 95        |

## DAFTAR GAMBAR

### BAB II      UNIFIED POWER FLOW CONTRLLER (UPFC)

#### SECARA UMUM

|             |                                                                           |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Model TCSC .....                                                          | 7  |
| Gambar 2.2  | Model SVC .....                                                           | 7  |
| Gambar 2.3  | Model UPFC .....                                                          | 8  |
| Gambar 2.4  | UPFC.....                                                                 | 10 |
| Gambar 2.5  | Model sumber tegangan dari UPFC .....                                     | 11 |
| Gambar 2.6  | Simultan control dari tegangan, impedansi sudut.....                      | 12 |
| Gambar 2.7  | Saluran transmisi yang dikompensasi .....                                 | 15 |
| Gambar 2.8  | Diagram Satu garis saluran yang dikompensasikan dengan kapasitor seri dan |    |
|             | Diagram vector tegangan kompensasi seri .....                             | 20 |
| Gambar 2.9  | Diagram satu garis sistem .....                                           | 23 |
| Gambar 2.10 | Rangkaian ekivalen dengan impedansi dan                                   |    |
|             | Sumber tegangan.....                                                      | 25 |
| Gambar 2.11 | Rangkaian ekuivalen dengan admitansi dan                                  |    |

|                   |    |
|-------------------|----|
| Sumber arus ..... | 25 |
|-------------------|----|

### **BAB III      STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK YANG MENGGUNAKAN UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC)**

Gambar 3.1 Mesin sinkronisasi yang dihubungkan

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Pada sistem yang besar ..... | 37 |
|------------------------------|----|

Gambar 3.2 Mesin Sinkronisasi yang dihubungkan pada sistem besar .....

37

Gambar 3.3 Sistem Tenaga Listrik dengan line paralel yang terhubung

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Pada sistem yang besar ..... | 39 |
|------------------------------|----|

Gambar 3.4 kriteria kawasan yang diterapkan untuk mempelajari

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Stabilitas operasi switching ..... | 40 |
|------------------------------------|----|

Gambar 3.5 Mesin Sinkronisasi yang dihubungkan

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Pada sistem besar dengan disuntikkan UPFC ..... | 41 |
|-------------------------------------------------|----|

Gambar 3.6 Vektor tanpa UPFC dengan 2 sirkit .....

44

Gambar 3.7 Vektor tanpa UPFC dengan 1 sirkit .....

45

Gambar 3.8 Vektor 1 sirkit yang dipasang UPFC

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Pada sistem yang kecil ..... | 46 |
|------------------------------|----|

Gambar 3.9 Vektor 1 sirkit yang dipasang UPFC

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Pada sistem yang besar ..... | 47 |
|------------------------------|----|



**BAB IV        SIMULASI PEMASANGAN UNIFIED POWER FLOW  
CONTROLLER (UPFC) PADA SALURAN TRANSMISI 500 kV  
Region Satu Jawa Bali**

Gambar 4.1 Load flow saluran transmisi 500 kV tanpa UPFC ..... 55

Gambar 4.1 Load flow saluran transmisi 500 kV dengan UPFC ..... 64

## DAFTAR TABEL

### **BAB II      UNIFIED POWER FLOW CONTRLLER (UPFC)**

#### **SECARA UMUM**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Macam Bus Pada Studi Aliran Beban ..... | 22 |
|---------------------------------------------------|----|

### **BAB IV      SIMULASI PEMASANGAN UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) PADA SALURAN TRANSMISI 500 kV Region Satu Jawa Bali**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.1 Data bus transmisi 500 kV region satu Jawa Bali .....                  | 49 |
| Tabel 4.2 Data saluran transmisi 500 kV region satu Jawa Bali .....              | 50 |
| Tabel 4.3 Data panjang saluran transmisi 500 kV region satu Jawa Bali .....      | 51 |
| Tabel 4.4 Nilai tegangan setiap bus transmisi 500 kV region satu .....           | 52 |
| Tabel 4.5 Aliran daya pada saluran transmisi tanpa UPFC .....                    | 53 |
| Tabel 4.6 Rugi – rugi daya pada saluran transmisi tanpa UPFC .....               | 54 |
| Tabel 4.7 Data bus transmisi 500 kV region satu<br>setelah penambahan UPFC ..... | 57 |
| Tabel 4.8 Data saluran transmisi 500 kV region satu                              |    |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Jawa Bali dengan UPFC .....                                          | 58 |
| Tabel 4.9 Data panjang saluran transmisi 500 kV region satu          |    |
| Jawa Bali dengan UPFC .....                                          | 59 |
| Tabel 4.10 Nilai tegangan setiap bus transmisi 500 kV                |    |
| region satu dengan UPFC .....                                        | 60 |
| Tabel 4.11 Aliran daya pada saluran transmisi dengan UPFC .....      | 61 |
| Tabel 4.12 Rugi – rugi daya pada saluran transmisi dengan UPFC ..... | 62 |
| Tabel 4.13 Perbandingan tegangan sistem tanpa UPFC                   |    |
| dan dengan UPFC .....                                                | 65 |

## **ABSTRAK**

Dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik seringkali ditemukan kendala untuk menyalurkan daya pada saluran transmisi yang menyangkut stabilitas tegangan transmisi. Stabilitas penyaluran dari saluran transmisi dapat dimaksimalkan atau diperbaiki dengan cara memasang Unified Power-Flow Controller (UPFC). Berapa kapasitas UPFC dan dimana penempatannya yang optimum berkaitan dengan strategi operasi akan dibahas dalam skripsi ini dengan dasar analisa aliran daya memakai metoda Newton-Raphson.

Dalam skripsi ini akan dianalisa pula bagaimana arus sirkulasi antara kapasitor shunt reaktor seri dalam UPFC pada kondisi yang diinginkan.

Dalam skripsi ini untuk perhitungan aliran daya menggunakan metode perhitungan Newton-Raphson dengan menggunakan program PSS/e 3.1.