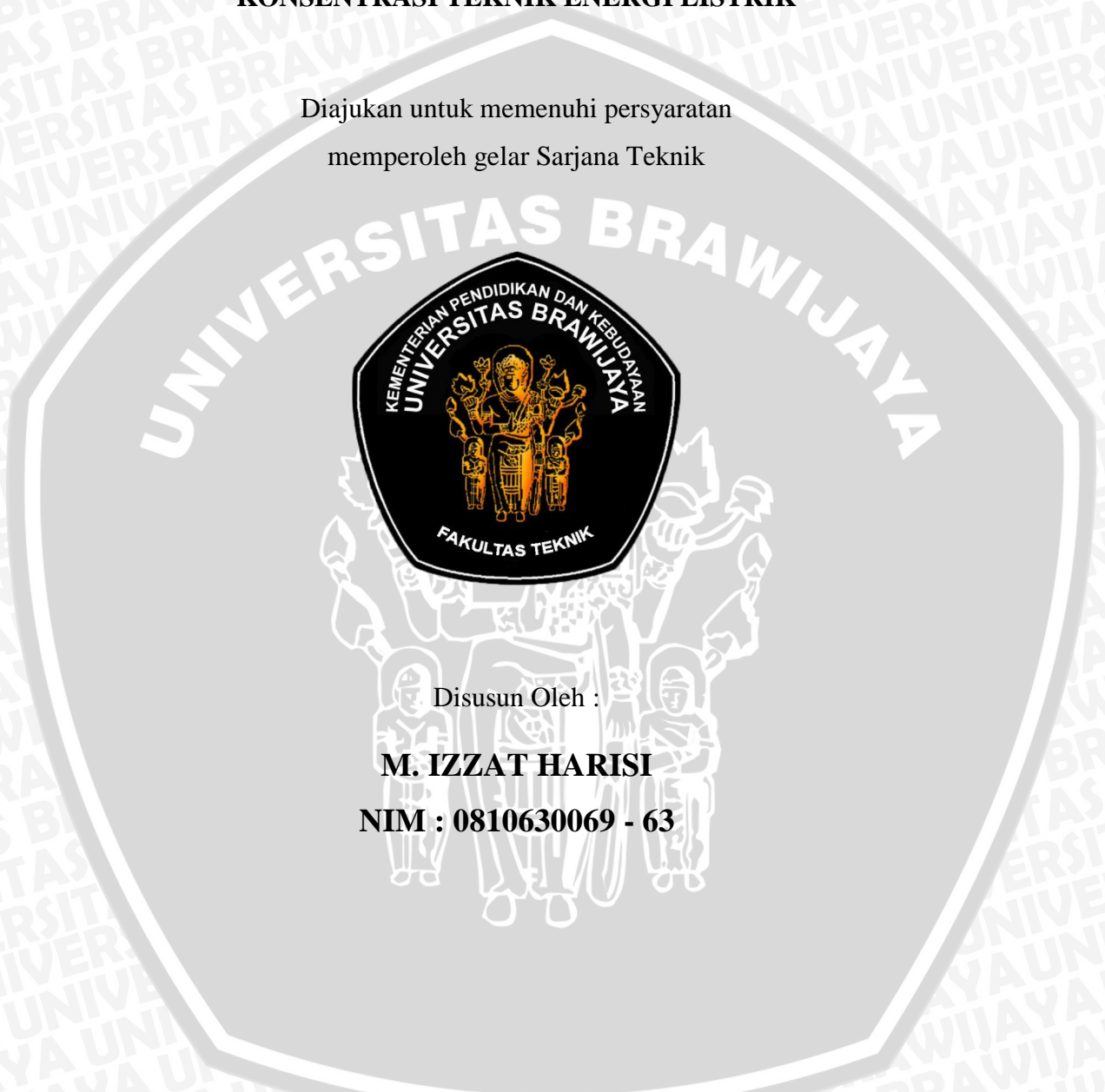


# ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN KOMPUTASI PARALEL

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**M. IZZAT HARISI**

**NIM : 0810630069 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN  
KOMPUTASI PARALEL**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

**M. IZZAT HARISI**  
**NIM: 0810630069 - 63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D**  
**NIP. 19730520 200801 1 013**

**Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc**  
**NIP. 19490309 198602 1 001**



**LEMBAR PERSETUJUAN**  
**ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN**  
**KOMPUTASI PARALEL**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun Oleh :

**M. IZZAT HARISI**  
**NIM: 0810630069 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 26 Desember 2012

**Majelis Penguji :**

**Ir. Wijono, M.T., Ph.D**  
**NIP. 19621111 198903 1 003**

**Ir. Teguh Utomo, M.T.**  
**NIP. 19650913 199103 1 003**

**Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.**  
**NIP. 19580609 198703 1 003**

Mengetahui :  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.**  
**NIP. 19580728 198701 1 001**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Aliran Daya Dengan Komputasi Paralel” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa pula shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju ke jalan yang terang.

Skripsi ini menganalisis aliran daya pada sistem transmisi yang perhitungannya diparalel dengan menggunakan 2 prosesor. Hal-hal yang diamati dalam skripsi ini adalah perbandingan hasil perhitungan dan waktu perhitungan antara analisis aliran daya komputasi paralel dan komputasi sekuensial.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Keluarga tercinta, Ibunda Fitriyah, Ayahanda Syamsul Arifin, dan kakakku Elfiah, serta keluarga besar atas dukungan, kasih sayang dan do'a yang tidak pernah terputus.
2. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, dan waktu.
3. Bapak Dr. Ir. Sholeh Adi P., MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
5. Teman dan keluarga besar TEUB Angkatan 2008 (Concordes) terutama Paket A 2008 atas persahabatan, saran, kebersamaan, serta kerjasamanya selama ini.

6. Lita yang telah banyak memberikan semangat, saran, waktu, dan kesabaran selama ini.
7. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidak-sempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, Desember 2012

Penulis



**DAFTAR ISI**

|  | Halaman   |
|--|-----------|
| KATA PENGANTAR .....                               | i         |
| DAFTAR ISI.....                                    | iii       |
| DAFTAR TABEL.....                                  | v         |
| DAFTAR GAMBAR .....                                | vi        |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                               | vii       |
| ABSTRAK .....                                      | viii      |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                           | 1         |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                           | 2         |
| 1.3 Batasan Masalah .....                          | 2         |
| 1.4 Tujuan .....                                   | 3         |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                    | 3         |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                | <b>4</b>  |
| 2.1 Sistem Per Unit .....                          | 4         |
| 2.2 Konsep Perhitungan Aliran Daya .....           | 5         |
| 2.3 Pemodelan Matriks .....                        | 6         |
| 2.3.1 Matriks Admitansi.....                       | 7         |
| 2.3.2 Matriks Daya .....                           | 8         |
| 2.4 Persamaan Sistem Aliran Daya.....              | 8         |
| 2.5 Metode Newton Raphson.....                     | 11        |
| 2.6 Dekomposisi LU .....                           | 13        |
| 2.7 Komputasi Paralel.....                         | 15        |
| 2.8 Arsitektur Komputer Paralel .....              | 17        |
| 2.9 Parallel Computing Toolbox (PCT) Matlab .....  | 19        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>          | <b>22</b> |
| 3.1 Studi Literatur .....                          | 22        |
| 3.2 Pengambilan Data.....                          | 22        |
| 3.3 Perancangan Aplikasi Analisis Aliran Daya..... | 22        |
| 3.4 Simulasi Perhitungan .....                     | 23        |



|                               |  |           |
|-------------------------------|--|-----------|
| 3.5                           | Analisis Hasil Perhitungan.....                                  | 23        |
| 3.6                           | Penutup .....  | 24        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b> |  | <b>27</b> |
| 4.1                           | Sistem Transmisi Standar IEEE.....                               | 27        |
| 4.2                           | Pengolahan Data .....  | 32        |
| 4.2.1                         | Pengolahan Data Komputasi Sekuensial.....                        | 32        |
| 4.2.2                         | Pengolahan Data Komputasi Paralel.....                           | 37        |
| 4.3                           | Algoritma Perhitungan Aliran Daya Komputasi Paralel .....        | 41        |
| 4.4                           | Aplikasi Perhitungan Sistem Aliran Daya .....                    | 46        |
| 4.3.1                         | Program Analisis Aliran Daya Metode Newton Raphson .....         | 46        |
| 4.3.2                         | Tampilan Aplikasi Analisis Aliran Daya .....                     | 50        |
| 4.5                           | Simulasi Aliran Daya .....                                       | 53        |
| 4.4.1                         | Simulasi Aliran Daya Komputasi Sekuensial .....                  | 54        |
| 4.4.2                         | Simulasi Aliran Daya Komputasi Paralel.....                      | 56        |
| 4.6                           | Perhitungan Rugi daya.....                                       | 59        |
| 4.7                           | Analisis Hasil Simulasi Aliran Daya .....                        | 61        |
| 4.6.1                         | Waktu Iterasi .....  | 61        |
| 4.6.2                         | Perbandingan Hasil Komputasi Paralel dan Komputasi Sekuensial .. | 63        |
| 4.6.3                         | Analisis Hasil Perhitungan.....                                  | 63        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>     |  | <b>66</b> |
| 5.1                           | Kesimpulan .....   | 66        |
| 5.2                           | Saran .....  | 66        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   |  | <b>67</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>         |  | <b>68</b> |



DAFTAR TABEL

|            | Halaman  |
|------------|--|
| Tabel 4.1  | Data saluran antar bus sistem transmisi IEEE 30 bus..... 28  |
| Tabel 4.2  | Data bus dan generator sistem transmisi IEEE 30 bus ..... 30   |
| Tabel 4.3  | Daya masing-masing bus sistem transmisi IEEE 30 bus ..... 33   |
| Tabel 4.4  | <i>Sparse</i> matriks Ybus ..... 34  |
| Tabel 4.5  | Matriks Sbus komputasi paralel..... 38   |
| Tabel 4.6  | <i>Sparse</i> matriks Ybus pada masing-masing prosesor..... 39   |
| Tabel 4.7  | Hasil perhitungan aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 30 bus ..... 55               |
| Tabel 4.8  | Hasil simulasi perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dengan variasi nilai <i>error</i> ..... 56 |
| Tabel 4.9  | Hasil perhitungan aliran daya komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus ..... 58                  |
| Tabel 4.10 | Hasil simulasi perhitungan aliran daya komputasi paralel dengan variasi nilai <i>error</i> ..... 59    |
| Tabel 4.11 | Rugi daya pada setiap saluran transmisi IEEE 30 bus..... 59  |
| Tabel 4.12 | Total rugi daya sistem transmisi IEEE ..... 61   |
| Tabel 4.13 | Perbandingan waktu iterasi komputasi sekuensial dan paralel ..... 61                                   |
| Tabel 4.14 | Perbandingan hasil tegangan dan tegangan maksimum dan minimum ..... 64                                 |





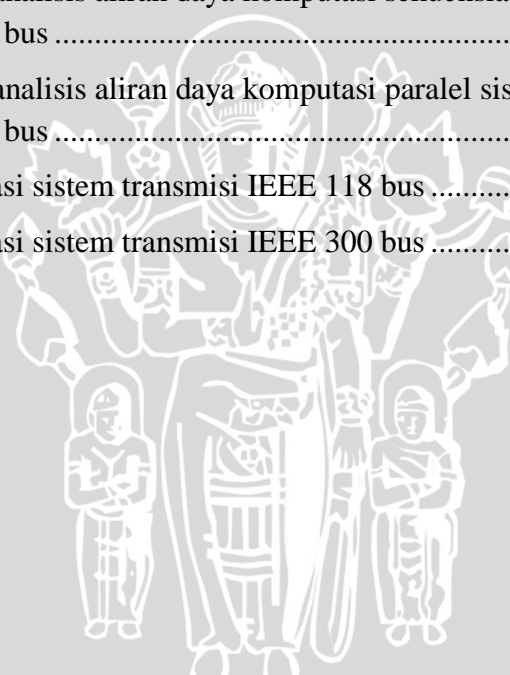
## DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Rangkaian ekivalen saluran transmisi dalam bentuk $\pi$ .....               | 7       |
| Gambar 2.2 Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya.....                  | 9       |
| Gambar 2.3 Penyelesaian sebuah masalah pada komputasi tunggal.....                     | 16      |
| Gambar 2.4 Penyelesaian sebuah masalah pada komputasi paralel.....                     | 16      |
| Gambar 2.5 Skema <i>Single Instruction Single Data</i> .....                           | 17      |
| Gambar 2.6 Skema <i>Single Instruction Multiple Data</i> .....                         | 18      |
| Gambar 2.7 Skema <i>Multiple Instruction Single Data</i> .....                         | 18      |
| Gambar 2.8 Skema <i>Multiple Instruction Multiple Data</i> .....                       | 19      |
| Gambar 2.9 <i>Parallel Computing Toolbox</i> .....                                     | 20      |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....  | 24      |
| Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan aliran daya komputasi sekuensial.....              | 25      |
| Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan aliran daya komputasi paralel.....                 | 26      |
| Gambar 4.1 <i>Single line diagram</i> sistem transmisi IEEE 30 bus.....                | 27      |
| Gambar 4.2 Menu analisis aliran daya dengan metode Newton Raphson.....                 | 50      |
| Gambar 4.3 Memasukkan data pada sistem perhitungan.....                                | 51      |
| Gambar 4.4 Sistem perhitungan aliran daya komputasi sekuensial.....                    | 52      |
| Gambar 4.5 Sistem perhitungan aliran daya komputasi paralel.....                       | 52      |
| Gambar 4.6 Hasil akhir perhitungan aliran daya komputasi paralel.....                  | 53      |
| Gambar 4.7 Hasil perhitungan komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 30 bus.....    | 54      |
| Gambar 4.8 Hasil perhitungan komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus.....       | 56      |
| Gambar 4.9 Hasil akhir perhitungan komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus..... | 57      |



DAFTAR LAMPIRAN

|   | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran 1 <i>Listing program</i> Newton Raphon komputasi sekuensial.....                         | 68      |
| Lampiran 2 <i>Listing program</i> Newton Raphson komputasi paralel .....                          | 70      |
| Lampiran 3 <i>Single line diagram</i> sistem transmisi IEEE 118 bus.....                          | 72      |
| Lampiran 4 <i>Single line diagram</i> sistem transmisi IEEE 300 bus.....                          | 73      |
| Lampiran 5 Simulasi analisis aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 118 bus ..... | 74      |
| Lampiran 6 Simulasi analisis aliran daya koomputasi paralel sistem transmisi IEEE 118 bus .....   | 75      |
| Lampiran 7 Simulasi analisis aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 300 bus ..... | 77      |
| Lampiran 8 Simulasi analisis aliran daya komputasi paralel sistem transmisi IEEE 300 bus .....    | 78      |
| Lampiran 9 Hasil iterasi sistem transmisi IEEE 118 bus .....                                      | 80      |
| Lampiran 10 Hasil iterasi sistem transmisi IEEE 300 bus .....                                     | 83      |



## ABSTRAK

**M. Izzat Harisi**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2012, *Analisis Aliran Daya Dengan Komputasi Paralel*, Dosen Pembimbing : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc.

Analisis aliran daya merupakan instrumen penting untuk memonitor dan mengontrol operasi sistem tenaga listrik. Untuk melakukan analisis aliran daya dari suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan aliran daya yang melibatkan suatu proses perulangan (iterasi). Oleh karena itu, penyelesaian perhitungan aliran daya membutuhkan suatu metode iterasi. Beberapa metode iterasi yang umum digunakan untuk analisis aliran daya diantaranya metode Gauss Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled. Pada skripsi ini, metode yang digunakan adalah metode Newton Raphson.

Saat ini, perhitungan aliran daya dipermudah dengan menggunakan komputer. Berdasarkan penggunaan prosesor komputer, proses perhitungan aliran daya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dan perhitungan aliran daya komputasi paralel. Komputasi sekuensial merupakan perhitungan yang umum digunakan untuk menghitung aliran daya. Sedangkan komputasi paralel merupakan pengembangan dari komputasi sekuensial yang perhitungannya diparalelkan menggunakan beberapa prosesor. Tujuan menggunakan komputasi paralel adalah untuk mempercepat perhitungan aliran daya dibandingkan dengan menggunakan komputasi sekuensial.

Dalam skripsi ini, simulasi perhitungan aliran daya komputasi paralel menggunakan data sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Simulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi aliran daya berbasis *Graphical User Interface* (GUI) yang dibuat dengan *software* Matlab. Pembuatan aplikasi ini bertujuan untuk memudahkan simulasi perhitungan aliran daya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa komputasi paralel mempercepat perhitungan aliran daya pada sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus. Salah satunya pada sistem transmisi IEEE 300 bus, perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel membutuhkan waktu 3,7113 sekon, sedangkan pada komputasi sekuensial membutuhkan waktu 9,8259 sekon. Besar tegangan, sudut fasa tegangan, dan rugi daya dari hasil perhitungan aliran daya komputasi paralel sama dengan perhitungan komputasi sekuensial.

**Kata kunci** : sistem transmisi, komputasi paralel, waktu iterasi, besar tegangan, sudut fasa tegangan, rugi daya.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga listrik merupakan studi yang mengungkapkan kinerja sistem aliran daya ketika sistem bekerja dalam keadaan tunak (*steady state*), baik yang sedang berjalan maupun yang akan terjadi di masa yang akan datang. Studi aliran daya merupakan instrumen penting untuk memonitor dan mengontrol operasi sistem tenaga listrik. Operasi sistem tenaga listrik yang memuaskan bergantung kepada pengenalan serta pengetahuan akibat adanya penambahan atau pengurangan beban, unit pembangkit, dan saluran transmisi baru, sebelum semuanya dapat direalisasikan.

Analisis aliran daya memberikan informasi mengenai tegangan setiap bus, arus yang mengalir pada setiap saluran transmisi, dan rugi-rugi transmisi. Analisis aliran daya dilakukan dengan menyelesaikan persamaan-persamaan aliran daya yang perhitungannya mengalami perulangan (iterasi). Oleh karena itu, penyelesaian persamaan aliran daya membutuhkan suatu metode iterasi. Metode iterasi yang umum digunakan untuk perhitungan aliran daya diantaranya adalah metode Gauss Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled. Pada skripsi ini digunakan metode Newton Raphson.

Saat ini, perhitungan analisis aliran daya dilakukan menggunakan komputer. Komputer mampu mempermudah proses perhitungan analisis aliran daya yang perhitungannya membutuhkan proses iterasi. Komputer mempercepat perhitungan aliran daya dibandingkan dengan perhitungan secara manual. Berdasarkan penggunaan komputer, perhitungan aliran daya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dan perhitungan aliran daya komputasi paralel.

Perhitungan aliran daya komputasi sekuensial merupakan perhitungan menggunakan solusi konvensional berupa algoritma sekuensial. Algoritma sekuensial diproses oleh komputer dengan menggunakan satu prosesor. Algoritma ini yang sering digunakan untuk perhitungan aliran daya. Sedangkan perhitungan aliran daya komputasi paralel merupakan perhitungan aliran daya yang



perhitungannya diparalelkan pada beberapa prosesor. Perhitungan ini merupakan pengembangan dari perhitungan aliran daya komputasi sekuensial yang perhitungannya dikerjakan secara bersama-sama dengan menggunakan beberapa prosesor. Dalam skripsi ini akan dibandingkan kecepatan perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dengan perhitungan aliran daya komputasi paralel.

Dalam skripsi ini akan dilakukan perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton Raphson yang diparalelkan pada beberapa prosesor. Meskipun metode Newton Raphson merupakan metode yang perhitungannya secara sekuensial, metode ini akan disusun algoritmanya menjadi metode Newton Raphson komputasi paralel. Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai besar tegangan dan sudut fasa tegangan dari setiap bus dan rugi daya pada setiap saluran. Selain itu akan diidentifikasi kecepatan perhitungan dengan menggunakan komputasi sekuensial dan paralel. Analisis aliran daya dengan komputasi paralel ini akan disimulasikan menggunakan *software* Matlab R2010a.

## 1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah ditekankan pada:

- a. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan antara komputasi paralel dengan komputasi sekuensial pada analisis aliran daya.
- b. Bagaimana perbandingan waktu yang dibutuhkan pada proses perhitungan aliran daya dengan menggunakan komputasi paralel dan komputasi sekuensial pada sistem transmisi yang luas.

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka pembahasan dibatasi pada:

- a. Simulasi perhitungan menggunakan *software* Matlab R2010a.
- b. Proses perhitungan paralel menggunakan *Parallel Computing Toolbox* (PCT) Matlab R2010a.
- c. Data yang digunakan adalah data sistem transmisi standar IEEE

- d. Metode yang digunakan dalam analisis aliran daya ini adalah metode Newton Raphson

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Mengetahui perbedaan kecepatan perhitungan dari analisis aliran daya dengan menggunakan komputasi sekuensial dan paralel.
2. Dapat mengevaluasi kinerja sistem tenaga listrik pada area yang luas dengan menggunakan hasil analisis aliran daya komputasi paralel.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

##### BAB I : PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

##### BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.

##### BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode pengambilan data, perancangan program, simulasi, dan analisis hasil.

##### BAB IV : PEMBAHASAN

Berisi simulasi perhitungan aliran daya dan analisis terhadap hasil perhitungan menggunakan komputasi sekuensial dan paralel.

##### BAB V : PENUTUP

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Per Unit

Besaran-besaran dalam sistem transmisi tenaga listrik memiliki satuan yang berbeda-beda. Satuan tegangan adalah kilovolt (kV), satuan daya adalah megavolt-ampere (MVA), satuan arus adalah ampere (A), dan satuan impedansi adalah ohm ( $\Omega$ ). Satuan-satuan tersebut dalam perhitungan aliran daya biasanya disamakan menjadi satuan per-unit yang ditentukan berdasarkan besaran dasar masing-masing. Penyamaan satuan ini dilakukan untuk memudahkan perhitungan aliran daya.

Definisi nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Perbandingan (*ratio*) dalam persentase adalah 100 kali nilai dalam per-unit. Kedua metode perhitungan tersebut, baik dengan persentase maupun dengan per-unit, lebih sederhana daripada menggunakan langsung nilai-nilai dengan satuan ampere, ohm, dan volt yang sebenarnya. Metode per-unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persentase, karena hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam per unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam persentase masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persentase (Stevenson 1984 : 34-35).

Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh-tegangan (*voltage drop*) pada impedansi tersebut sebesar tegangan dasar dengan arus yang mengalirinya sama dengan arus dasar. Daya dasar pada sistem fasa tunggal adalah hasil perkalian dari tegangan dasar dalam KV dan arus dasar dalam ampere (A). Biasanya daya dasar dalam MVA dan tegangan dasar dalam KV adalah kuantitas yang dipilih untuk menentukan dasar atau referensi. Jadi, untuk sistem fasa tunggal atau sistem tiga fasa di mana istilah arus berarti arus saluran, istilah tegangan berarti tegangan ke netral, dan istilah kilovoltampere (kVA) berarti kVA per fasa, berlaku rumus-rumus berikut ini untuk hubungan bermacam-macam kuantitas (Stevenson 1984 : 35):

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{kVA \text{ dasar}_{1\phi}}{kV \text{ dasar, } kV_{LN}} \quad (2.1)$$

$$\text{Impedansi dasar, } \Omega = \frac{kV \text{ dasar, } V_{LN}}{\text{Arus dasar, } A} \quad (2.2)$$

$$\text{Impedansi dasar, } \Omega = \frac{(kV \text{ dasar, } kV_{LN})^2 \times 1000}{kVA \text{ dasar}_{1\phi}} \quad (2.3)$$

$$\text{Impedansi dasar, } \Omega = \frac{(kV \text{ dasar, } kV_{LN})^2}{MVA \text{ dasar}_{1\phi}} \quad (2.4)$$

$$\text{Daya dasar, } kW_{1\phi} = kVA \text{ dasar}_{1\phi} \quad (2.5)$$

$$\text{Daya dasar, } MW_{1\phi} = MVA \text{ dasar}_{1\phi} \quad (2.6)$$

$$Z_{pu}(\text{baru}) = Z_{diberikan} \left( \frac{kV_{diberikan \text{ dasar}}}{kV_{baru \text{ dasar}}} \right)^2 \times \left( \frac{kVA_{baru \text{ dasar}}}{kVA_{diberikan \text{ dasar}}} \right) \quad (2.7)$$

Dari persamaan-persamaan di atas, subkrip  $1\phi$  dan LN berturut-turut menunjukkan “per fasa” dan “saluran-ke-netral”, untuk persamaan-persamaan yang berlaku bagi rangkaian tiga fasa. Jika persamaan-persamaan tersebut dipakai untuk rangkaian berfasa tunggal,  $kV_{LN}$  berarti tegangan pada saluran berfasa tunggal, atau tegangan saluran ke tanah jika salah satu salurannya diketanahkan.

## 2.2 Konsep Perhitungan Aliran Daya

Studi aliran daya adalah perhitungan tegangan, arus, dan daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu sistem tenaga listrik pada keadaan pengoperasian *steady state*, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Di dalam sistem tenaga listrik, daya mengalir dari pembangkit-pembangkit daya menuju ke beban melalui sistem transmisi. Dalam proses ini, banyak hal yang perlu mendapat perhatian antara lain keadaan tegangan setiap bus, aliran daya MW dan MVAR dalam setiap saluran dan lain-lain.

Sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem jaringan yang membawa tenaga listrik. Oleh karena itu, setiap bus terdapat daya aktif (P), daya reaktif (Q), besar tegangan (V) dan sudut fasa tegangan ( $\theta$ ). Variabel-variabel ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi



pembangkitan maupun pembebanan. Dalam persamaan aliran daya, terdapat dua data yang diketahui dari variabel tersebut, sedangkan dua data lainnya dihitung. Bus gardu induk dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi 3 tipe bus, yaitu (Grainger dan Stevenson, 1994 : 332):

a. Bus beban (bus PQ)

Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ , sedangkan besaran yang dihitung adalah tegangan  $V$  dan sudut fasa tegangan  $\theta$ .

b. Bus generator (bus PV)

Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah besar tegangan  $V$  dan daya aktif  $P$ , sedangkan besaran yang dihitung adalah sudut fasa tegangan  $\theta$  dan daya reaktif  $Q$ .

c. Bus berayun (*swing bus*)

Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah besar tegangan  $V$  dan sudut fasa tegangan  $\theta$ , sedangkan yang tidak diketahui adalah daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ . Umumnya dalam studi aliran daya hanya terdapat satu bus berayun. *Swing bus* berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$  pada sistem tenaga listrik.

### 2.3 Pemodelan Matriks

Perumusan model matematika merupakan langkah awal untuk menganalisis sistem tenaga listrik. Persamaan matriks merupakan model matematika yang baik untuk analisis sistem daya dengan menggunakan komputer. Dalam analisis aliran daya, terdapat 3 komponen matriks yang digunakan sebagai data masukan perhitungan aliran daya. Ketiga matriks itu adalah matriks admitansi, matriks tegangan, dan matriks daya.

Matriks tegangan biasanya dinyatakan dalam besar tegangan dan sudut fasa tegangan. Sehingga data tegangan dalam perhitungan aliran daya menjadi matriks besar tegangan ( $V$ ) dan matriks sudut fasa tegangan ( $\theta$ ). Kedua matriks ini didapatkan dari data awal yang diketahui.

### 2.3.1 Matriks Admitansi

Matriks admitansi dibentuk dengan menggunakan data dari saluran transmisi dan transformator. Data saluran transmisi yang digunakan antara lain impedansi seri  $z_s$ , total charging capacitance  $b_c$ , dan admitansi shunt ( $y_{sh}$ ), dimana  $z_s$  adalah

$$z_s = r_s + jx_s \tag{2.8}$$

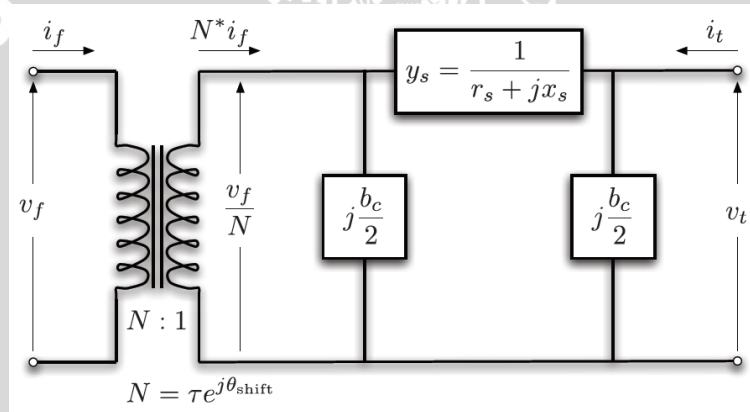
dengan

$z_s$  : Impedansi seri

$r_s$  : Resistansi seri

$x_s$  : Reaktansi seri

Rasio suatu transformator tegangan dapat ditampilkan dalam  $N = \tau e^{j\theta_{shift}}$  dengan  $\tau$  merupakan nilai dari tap transformator dan  $\theta_{shift}$  merupakan nilai pergeseran fasanya (*phase shifter*).



Gambar 2.1 Rangkaian ekivalen saluran transmisi dalam bentuk  $\pi$   
 Sumber: Zimmerman & Murillo-Sanchez (2011 : 17)

Persamaan untuk rangkaian pada Gambar 2.1 dapat ditampilkan dalam matriks dengan menggunakan variabel arus  $i_f$  (arus kirim) dan  $i_t$  (arus terima), tegangan  $v_f$  (tegangan kirim) dan  $v_t$  (tegangan terima), dan matriks admitansi  $Y_{br}$  seperti pada Persamaan 2.9. Matriks  $Y_{br}$  adalah matriks admitansi saluran yang dapat ditampilkan dalam Persamaan 2.10 dengan nilai  $y_s = 1/z_s$  (Zimmerman dan Murillo-Sanchez, 2011 : 17).

$$\begin{bmatrix} i_f \\ i_t \end{bmatrix} = Y_{br} \begin{bmatrix} v_f \\ v_t \end{bmatrix} \tag{2.9}$$

$$Y_{br} = \begin{bmatrix} \left(y_s + j\frac{bc}{2}\right)\frac{1}{\tau^2} & -y_s\frac{1}{\tau e^{-j\theta_{shift}}} \\ -y_s\frac{1}{\tau e^{j\theta_{shift}}} & y_s + j\frac{bc}{2} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

dimana

$Y_{br}$  : Matriks admitansi

$y_s$  : Admitansi seri

$bc/2$  : *Half line charging*

$\tau$  : Rasio tap trafo

$\theta_{shift}$  : sudut *phase shifter*

### 2.3.2 Matriks Daya

Matriks daya didapat dari pengurangan besar daya generator dengan besar daya beban (Zimmerman dan Murillo-Sanchez, 2011 : 18).

$$S_g = P_g + jQ_g \quad (2.11)$$

$$S_d = P_d + jQ_d \quad (2.12)$$

$$S_{bus} = S_g - S_d \quad (2.13)$$

dengan

$S_g$  : Matriks daya generator

$P_g$  : Matriks daya aktif generator

$Q_g$  : Matriks daya reaktif generator

$S_d$  : Matriks daya beban

$P_d$  : Matriks daya aktif beban

$Q_d$  : Matriks daya reaktif beban (MVAR)

$S_{bus}$  : Matriks daya

### 2.4 Persamaan Sistem Aliran Daya

Sistem tenaga listrik tidak hanya terdiri dari dua bus, melainkan terdiri dari beberapa bus yang diinterkoneksi satu sama lain. Daya listrik yang diinjeksikan oleh generator kepada salah satu bus, bukan hanya dapat diserap oleh beban yang terletak di bus tersebut, melainkan dapat juga diserap oleh beban di

bus yang lain. Kelebihan daya pada bus akan dikirimkan melalui saluran transmisi ke bus-bus lain yang kekurangan daya.

Persamaan untuk sistem tenaga listrik dapat dinyatakan dalam bentuk admitansi sebagai berikut (Kundur, 1994 : 257) :

$$I_{bus} = Y_{bus}V_{bus} \quad (2.14)$$

dimana

$I_{bus}$  : matriks arus pada setiap bus

$Y_{bus}$  : matriks admitansi

$V_{bus}$  : matriks tegangan pada setiap bus

Untuk mengetahui nilai tegangan setiap bus, harus dilakukan iterasi sesuai dengan metode yang digunakan. Nilai iterasi akan berhenti jika selisih nilai daya baru dengan nilai daya sebelumnya kurang dari nilai *error* yang diizinkan. Nilai terakhir dari iterasi tersebut adalah nilai tegangan pada masing-masing node.

Daya di setiap bus dapat dihitung dengan menggunakan tegangan hasil iterasi. Persamaan 2.15 merupakan perhitungan daya di masing-masing bus (Grainger dan Stevenson, 1994 : 330).

$$P_p - jQ_p = V_p^* I_{pq} \quad (2.15)$$

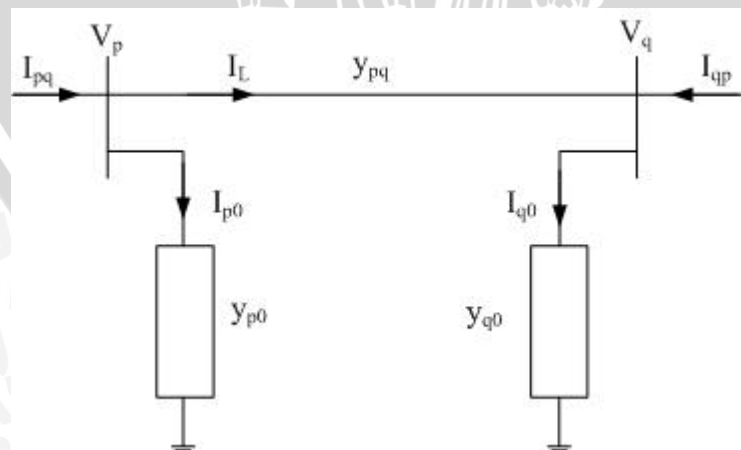
dimana

$P_p$  : Daya aktif pada bus  $p$

$Q_p$  : Daya reaktif pada bus  $p$

$V_p$  : Tegangan pada bus  $p$

$I_{pq}$  : Arus pada bus  $p$



Gambar 2.2 Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya  
Sumber: Nugroho (2008 : 3)

Selain menentukan besaran daya pada tiap bus, analisis aliran daya juga digunakan untuk menentukan besar kerugian daya yang hilang pada saluran transmisi selama proses penyaluran daya dari pembangkit ke pusat beban. Perhatikan saluran yang terhubung antara bus  $p$  dan  $q$  pada Gambar 2.2. Arus saluran  $I_{pq}$  diukur pada bus  $p$  dan dianggap positif untuk arah  $p$  ke  $q$ , dapat ditulis pada Persamaan 2.16 (Nugroho, 2008 : 3).

$$I_{pq} = I_L + I_{p0} = y_{pq}(V_p - V_q) + y_{p0}V_p \quad (2.16)$$

dimana

- $I_{pq}$  : Arus pada bus  $p$
- $I_L$  : Arus pada saluran antara bus  $p$  dan bus  $q$
- $I_{p0}$  : Arus pada saluran *half line charging*
- $y_{pq}$  : Admitansi saluran antara bus  $p$  dan bus  $q$
- $y_{p0}$  : *Half line charging*
- $V_p$  : Tegangan bus  $p$
- $V_q$  : Tegangan bus  $q$

Demikian juga arus saluran  $I_{qp}$  diukur pada bus  $q$  dan dianggap positif untuk arah  $q$  ke  $p$ , dapat ditulis pada Persamaan 2.17

$$I_{qp} = -I_L + I_{q0} = y_{pq}(V_q - V_p) + y_{q0}V_q \quad (2.17)$$

Daya kompleks  $S_{pq}$  dari bus  $p$  ke  $q$  dan  $S_{qp}$  dari bus  $q$  ke  $p$  dinyatakan pada Persamaan 2.18 dan 2.19.

$$S_{pq} = V_p I_{pq}^* \quad (2.18)$$

$$S_{qp} = V_q I_{qp}^* \quad (2.19)$$

Rugi daya dalam saluran  $pq$  adalah penjumlahan aljabar dari daya yang ditentukan dari Persamaan 2.18 dan 2.19, sehingga dapat dinyatakan pada Persamaan 2.20.

$$S_{L\ pq} = S_{pq} + S_{qp} \quad (2.20)$$

Sehingga persamaan untuk mendapatkan total rugi saluran untuk sistem dengan jumlah  $n$  bus adalah pada Persamaan 2.21.

$$S_{LT} = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n S_{L\ pq} \quad (2.21)$$

dimana

$S_{L_{pq}}$  : Rugi daya pada saluran antara bus  $p$  dan  $q$

$S_{LT}$  : Total rugi daya

## 2.5 Metode Newton Raphson

Masalah aliran daya dapat diselesaikan dengan metode Newton-Raphson menggunakan sejumlah persamaan nonlinier yang menyatakan daya aktif dan reaktif sebagai fungsi dari besar tegangan dan sudut fasa tegangan. Misalkan  $V_p = V_p \angle \theta_p$ ,  $Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$ , dan  $\theta_{pq} = \theta_p - \theta_q$ , persamaan daya pada suatu bus  $p$  dapat ditulis sebagai berikut (Kundur, 1994 : 262) :

$$P_p - jQ_p = V_p I_p^* = V_p \sum_{q=1}^n (G_{pq} + jB_{pq}) V_q \angle (\theta_q - \theta_p) \quad (2.22)$$

Dengan memisahkan bagian nyata dan imajiner dari Persamaan 2.22, diperoleh persamaan daya aktif dan reaktif pada bus  $p$  sebagai berikut (Kundur, 1994 : 263):

$$P_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (2.23)$$

$$Q_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (2.24)$$

Kedua persamaan non linier  $P_p$  dan  $Q_p$  ini merupakan persamaan-persamaan utama dalam analisis aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson dan rumusan ini menghasilkan dua persamaan non linier dalam setiap bus. Besar daya aktif dan daya reaktif diketahui sedangkan besar tegangan dan sudut fasa tegangan tidak diketahui untuk semua bus kecuali pada *slack bus* dimana besar tegangannya diketahui dan dijaga konstant.

Dengan linierisasi, akan diperoleh sebuah sistem linier dalam  $\Delta \delta$  dan  $\Delta V/V$  yang dapat ditulis dalam Persamaan 2.25 (Grainger dan Stevenson, 1994 : 337-348):

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

dengan

$$\Delta P_p = P_p^{diket} - V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (2.26)$$

$$p = 1, 2, 3, \dots (p \neq \text{slack bus})$$

$$\Delta Q_p = Q_p^{diket} - V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (2.27)$$

$$p = 1, 2, 3, \dots (p \neq \text{slack bus})$$

Persamaan-persamaan untuk menentukan elemen-elemen matrik jakobian dapat diturunkan dari persamaan-persamaan daya. Elemen-elemen matrik H, N, J, dan L adalah sebagai berikut:

- o Untuk  $p \neq q$

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} = V_p V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (2.28)$$

$$N_{pq} = V_q \frac{\partial P_p}{\partial V_q} = V_p V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (2.29)$$

$$J_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = V_p V_q (-G_{pq} \cos \theta_{pq} - B_{pq} \sin \theta_{pq}) = -N_{pq} \quad (2.30)$$

$$L_{pq} = V_q \frac{\partial Q_p}{\partial V_q} = V_p V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) = H_{pq} \quad (2.31)$$

- o Untuk  $p = q$

$$H_{pp} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_p} = V_p \sum_{q=1, q \neq p}^n V_q (-G_{pq} \sin \theta_{pq} + B_{pq} \cos \theta_{pq})$$

$$H_{pp} = -Q_p - B_{pp} V_p^2 \quad (2.32)$$

$$N_{pp} = V_p \frac{\partial P_p}{\partial V_p} = V_p \sum_{q=1, q \neq p}^n V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) + V_p (2V_p G_{pp})$$

$$= P_p + G_{pp} V_p^2 \quad (2.33)$$

$$J_{pp} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} = V_p \sum_{q=1, q \neq p}^n V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq})$$

$$= P_p - G_{pp} V_p^2 \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned}
 L_{pp} &= V_p \frac{\partial Q_p}{\partial V_p} = V_p \sum_{q=1, q \neq p}^n V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) - 2V_p^2 B_{pp} \\
 &= Q_p - B_{pp} V_p^2
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

Jika bus  $p$  adalah bus PV dimana nilai  $Q_p$  tidak ditentukan nilainya, sehingga tidak diperoleh nilai  $\Delta Q_p$ . Sebaliknya karena besar tegangan dijaga tetap maka nilai  $\Delta V_p = 0$  (Kundur, 1994 : 264).

Setelah mendapatkan semua komponen  $\Delta P$ ,  $\Delta Q$ , dan komponen-komponen matriks jacobian, maka Persamaan 2.25 dapat diselesaikan. Hasil dari penyelesaian Persamaan 2.25 adalah perubahan besar tegangan ( $\Delta V/V$ ) dan perubahan sudut fasa tegangan ( $\Delta \theta$ ). Untuk mendapatkan besar tegangan dan sudut fasa tegangan baru dengan menggunakan Persamaan 2.36 dan 2.37 (Grainger dan Stevenson, 1994 : 349).

$$\theta^{baru} = \theta^{lama} + \Delta \theta \tag{2.36}$$

$$V^{baru} = V^{lama} + \frac{\Delta V}{V} V^{lama} \tag{2.37}$$

dimana

$\theta^{baru}$  : Sudut fasa tegangan baru

$\theta^{lama}$  : Sudut fasa tegangan lama

$\Delta \theta$  : Perubahan sudut fasa tegangan

$V^{baru}$  : Besar tegangan baru

$V^{lama}$  : Besar tegangan lama

$\Delta V/V$  : Perubahan besar tegangan.

## 2.6 Dekomposisi LU

Dekomposisi LU adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan linier. Dekomposisi LU merupakan pengembangan dari metode eliminasi. Jika matriks  $A$  non singular maka  $A$  dapat diuraikan menjadi dua matriks segitiga, yaitu matriks segitiga bawah (*lower*) dan matriks segitiga atas  $U$  (*upper*) (Butt, 2009 : 177) :

$$A = LU \tag{2.38}$$



dimana  $L$  adalah matriks segitiga bawah dan  $U$  adalah matriks segitiga atas. Kedua matriks memiliki orde matriks yang sama dengan matriks  $A$ . Ketika menyelesaikan sebuah persamaan linier dengan koefisien matriks yang sama tetapi sisi kanan persamaan yang berbeda, dekomposisi LU lebih efisien dari pada metode eliminasi. Penentuan elemen diagonal dari  $L$  dan  $U$  membuat pemfaktornya unik. Langkah penyelesaian dengan elemen diagonal matriks  $L$  bernilai 1 disebut metode Doolittle atau Eliminasi Gauss, sedangkan langkah penyelesaian dengan elemen diagonal matriks  $U$  bernilai 1 disebut metode Crout. Dalam skripsi ini digunakan metode Doolittle (Butt, 2009 : 177).

Dalam metode Doolittle (Eliminasi Gauss), matriks segitiga atas  $U$  didapatkan dengan menggunakan *forward elimination* (eliminasi maju) dari metode Eliminasi Gauss. Matriks segitiga bawah  $L$  memiliki nilai 1 pada komponen diagonalnya (Butt, 2009 : 179).

Bentuk umum dari matriks  $L$  dan  $U$  dapat dituliskan sebagai berikut

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ l_{21} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

dimana nilai  $l_{ij} = 0$  dengan  $i < j$  dan  $u_{ij} = 0$  dengan  $i > j$ .

Misalkan, sebuah persamaan linier

$$Ax = b \quad (2.40)$$

dan  $A$  dapat difaktorkan menjadi matriks  $L$  dan  $U$ , seperti pada Persamaan 2.43.

Sehingga Persamaan 2.40 menjadi seperti berikut:

$$LUx = b \quad (2.41)$$

Persamaan 2.41 dapat diuraikan menjadi persamaan 2.42 dan 2.43

$$Ux = y \quad (2.42)$$

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & \dots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & u_{23} & \dots & u_{2n} \\ 0 & 0 & u_{33} & \dots & u_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$Ly = b \tag{2.43}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ l_{21} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ l_{31} & l_{32} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

Elemen matriks  $L$  dan matriks  $U$  didapatkan dengan menyamakan elemen matriks  $A$  dan  $LU$  secara sistematis. Setelah matriks  $L$  dan  $U$  sudah didapatkan, Persamaan 2.41 dapat diselesaikan dengan 2 langkah (Butt, 2009 : 178):

1. Menyelesaikan persamaan  $Ly = b$

Dengan menggunakan *forward elimination* (eliminasi maju), didapatkan komponen dari matriks  $y$  dengan langkah sebagai berikut:

$$y_1 = b_1 \tag{2.44}$$

$$y_i = b_i - \sum_{j=1}^{i-1} l_{ij} y_j \tag{2.45}$$

2. Menyelesaikan persamaan  $Ux = y$

Dengan menggunakan *backward substitution* (substitusi mundur), didapatkan komponen matriks  $x$  dengan langkah sebagai berikut:

$$x_n = \frac{y_n}{u_{nn}} \tag{2.46}$$

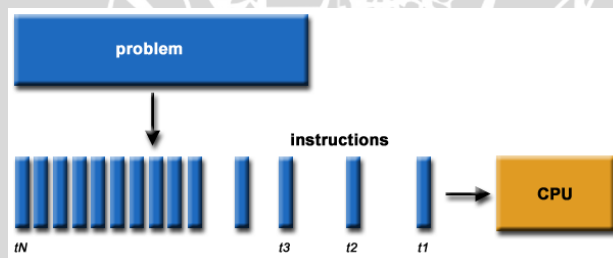
$$x_i = \frac{1}{u_{ii}} y_i - \sum_{j=i+1}^n u_{ij} x_j, \quad i = n-1, n-2, \dots, 1 \tag{2.47}$$

## 2.7 Komputasi Paralel

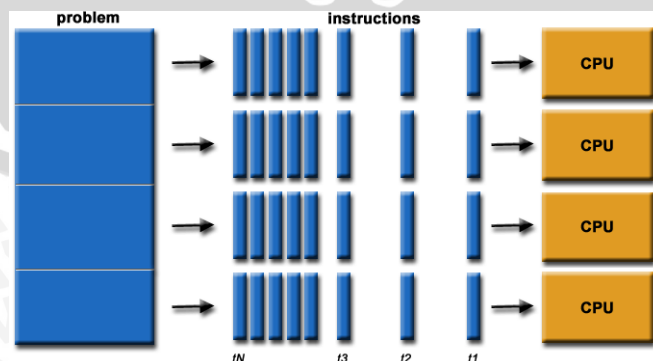
Komputer tradisional memiliki prosesor tunggal untuk melaksanakan tugas-tugas dari suatu program. Salah satu cara untuk meningkatkan kecepatan komputer adalah menggunakan beberapa prosesor dalam satu komputer (multiprosesor) maupun beberapa komputer yang mengerjakan satu tugas. Dalam kasus lain, program dibagi menjadi beberapa bagian. Masing-masing bagian terdiri atas beberapa prosesor terpisah secara paralel. Pemrograman dengan metode itu disebut pemrograman paralel (*parallel programming*). Untuk

perbedaan antara komputasi tunggal dengan komputasi paralel dapat digambarkan pada Gambar 2.3 dan 2.4 (Allen dan Wilkinson, 2010 : 4) :

Platform komputer paralel (*parallel computer*) yang digunakan bisa berupa komputer dengan beberapa prosesor maupun beberapa komputer yang terhubung dengan cara tertentu. Pendekatan tersebut seharusnya mampu meningkatkan kemampuan komputer secara signifikan. Maksudnya adalah  $p$  prosesor/komputer mampu menghasilkan hingga  $p$  kali kecepatan komputer dengan satu prosesor/komputer. Berapa pun kecepatan prosesor/komputer itu dengan harapan masalah yang ada dapat diselesaikan dengan waktu  $1/p$ . Tentu saja situasi tersebut merupakan situasi ideal yang jarang sekali terjadi. Seringkali, masalah tidak dapat dipecah menjadi bagian-bagian kecil. Selain itu, diperlukan interaksi antara masing-masing bagian, baik untuk transfer data maupun sinkronisasi. Namun, seberapa jauh peningkatan kecepatan dapat dicapai bergantung pada masalah dan peran paralelisme. Satu hal yang menyebabkan kemampuan komputer paralel menjadi tak terbatas adalah peningkatan kecepatan eksekusi suatu proses secara berkelanjutan yang akan meningkatkan pula kecepatan komputer paralel (Allen dan Wilkinson, 2010 : 5).



Gambar 2.3 Penyelesaian sebuah masalah pada komputasi tunggal  
Sumber: Widiyanto (2012 : 9)



Gambar 2.4 Penyelesaian sebuah masalah pada komputasi paralel  
Sumber: Widiyanto (2012 : 10)

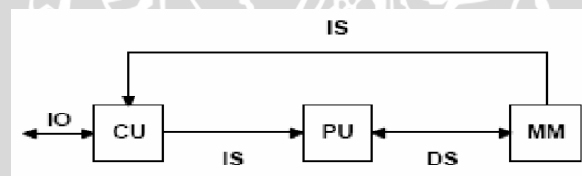
Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan dari solusi paralel, tetapi yang lebih penting adalah sebagai berikut (Siregar, Soeprijanto, dan Purnomo, 2009 : 2) :

- 1) Keseimbangan beban diantara mengambil bagian pada prosesor.
- 2) *Performance* dari prosesor.
- 3) Kecepatan dari komunikasi data antara prosesor.

## 2.8 Arsitektur Komputer Paralel

Berdasarkan jumlah dan prinsip kerja prosesor pada komputer paralel, A.J. Van der Steen dan J. Donggara menyebutkan terdapat empat arsitektur utama komputer paralel menurut Flynn(1972), yaitu (Ogi,2010 : 6):

- 1) SISD (*Single Instruction - Single Data*). Komputer ini memiliki hanya satu prosesor dan satu instruks secara serial. Komputer ini adalah tipe komputer konvensional. Menurut mereka, tipe komputer ini tidak ada dalam praktik komputer paralel bahkan mainframe pun tidak lagi menggunakan satu prosesor. Klasifikasi ini sekedar untuk melengkapi definisi komputer paralel. Skeda SISD ditunjukkan pada Gambar 2.5.



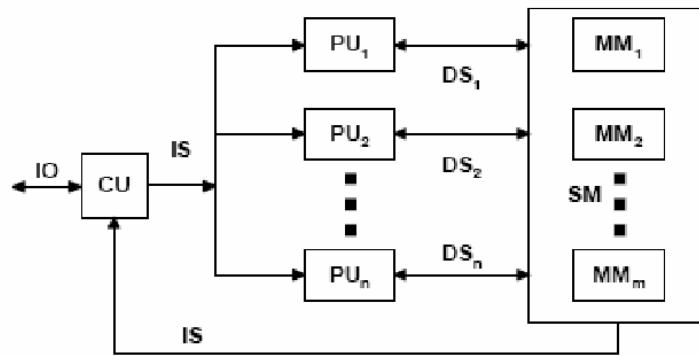
Gambar 2.5 Skema *Single Instruction Single Data*  
Sumber: Ogi (2010 : 7)

Keterangan:

- CU : Control Unit
- PU : Processor Unit
- MM : Memory Modul
- SM : Shared Memory
- IS : Instruction Stream
- DS : Data Stream
- IO : Input / Output

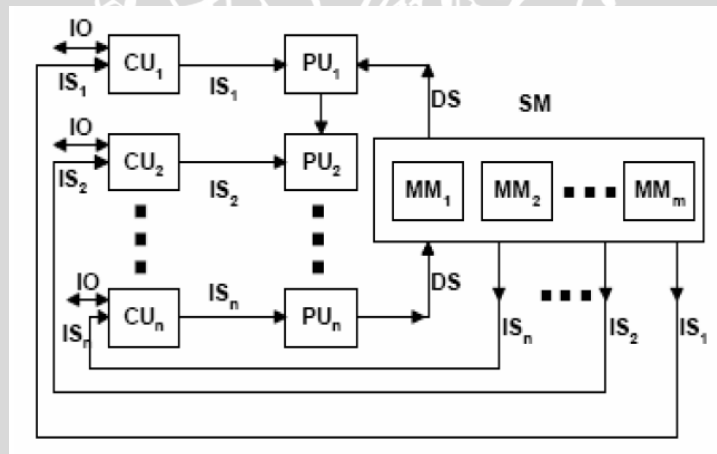
- 2) SIMD (*Single Instruction – Multiple Data*). Komputer ini memiliki lebih dari satu prosesor, tetapi hanya mengeksekusi satu instruksi secara paralel pada data yang berbeda pada level *lock-step*. Komputer vektor adalah

salah satu komputer paralel yang menggunakan arsitektur ini. Skema SIMD ditunjukkan pada Gambar 2.6.



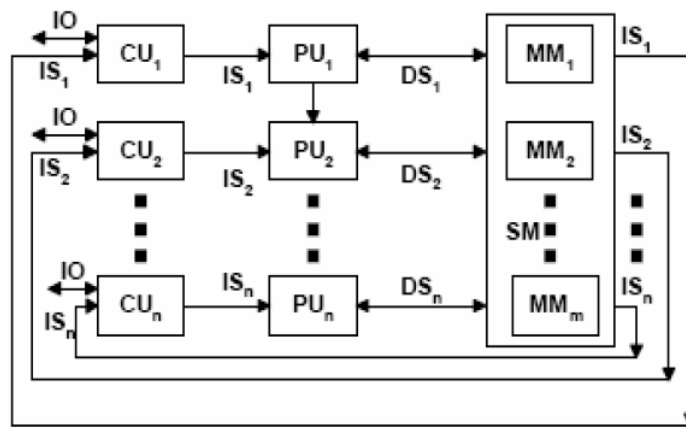
Gambar 2.6 Skema *Single Instruction Multiple Data*  
 Sumber: Ogi (2010 : 7)

- 3) MISD (*Multiple Instruction – Single Data*). Teorinya komputer ini memiliki satu prosesor dan mengeksekusi beberapa instruksi secara paralel tetapi praktiknya tidak ada komputer yang dibangun dengan arsitektur ini karena sistemnya tidak mudah dipahami. Skema MISD ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema *Multiple Instruction Single Data*  
 Sumber: Ogi (2010 : 8)

- 4) MIMD (*Multiple Instruction – Multiple Data*). Komputer ini memiliki lebih dari satu prosesor dan mengeksekusi lebih dari satu instruksi secara paralel. Tipe komputer ini yang paling banyak digunakan untuk membangun komputer paralel, bahkan banyak *supercomputer* yang menerapkan arsitektur ini. Skema MIMD ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema *Multiple Instruction Multiple Data*  
Sumber: Ogi (2010 : 8)

Berdasarkan klasifikasi Flynn di atas maka secara umum proses komputasi paralel dapat dilaksanakan pada komputer kategori SIMD dan MIMD. Arsitektur SPMD (*Single Program Multiple Data*) dan MPMD (*Multiple Program Multiple Data*) merupakan variasi dari SIMD dan MIMD yang tidak terpaku pada paradigma klasifikasi Flynn. Pada SPMD, sebuah program yang sama yang terdiri atas kumpulan instruksi program atau kumpulan subprogram dapat dijalankan pada prosesor yang berbeda dengan mengeksekusi data yang berbeda.

Karena program bisa memproses data yang berbeda-beda pada subprogram yang berbeda, maka pada program SPMD dimungkinkan untuk melakukan proses yang asinkron, artinya SPMD tidak harus selalu bekerja secara sinkron seperti pada SIMD, sinkronisasi biasanya dilakukan pada bagian awal dan bagian akhir dari program atau subprogram yang diduplikasikan pada semua prosesor (Prasetyo, 2010 : 3).

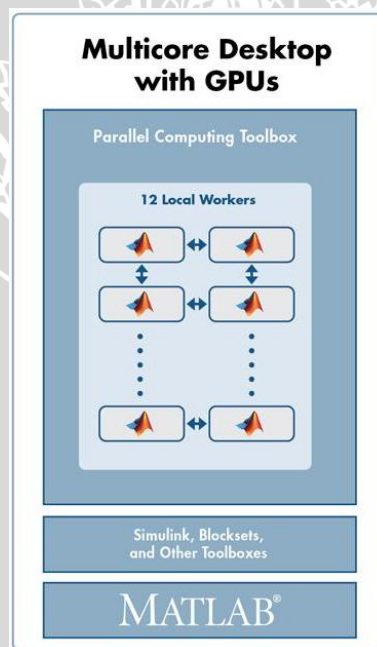
## 2.9 Parallel Computing Toolbox (PCT) Matlab

Matlab adalah bahasa pemrograman yang paling banyak digunakan dalam perhitungan. Para ilmuwan di berbagai tempat menggunakan Matlab dalam membentuk dan menjalankan algoritma suatu program dengan cepat dikarenakan penyusunan bahasa program yang mudah, terintegrasi dengan *user interface*, dan menunjang untuk pustaka numerik dan *toolbox* yang lain.

Matlab menyadari bahwa perhitungan paralel sangat dibutuhkan untuk perhitungan yang dilakukan oleh ilmuwan. Dalam hal ini, algoritma-algoritma

Matlab dikembangkan agar dapat bekerja secara paralel. Beberapa perintah telah ditambahkan pada Matlab agar pengguna dapat menjalankan perhitungan secara paralel.

Matlab telah mengembangkan *Parallel Computing Toolbox* (PCT) yang dibutuhkan dalam semua aplikasi paralel. PCT dikembangkan mulai Matlab versi 2008a hingga sekarang (Burkardt, 2009 : 16). PCT memudahkan pengguna untuk menyelesaikan masalah perhitungan dengan menggunakan *multicore processors*, GPUs, dan *cluster* komputer. Konstruksi level tinggi (*parallel for-loops*, tipe array khusus, dan algoritma numerik paralel) digunakan untuk memparalelkan aplikasi Matlab tanpa menggunakan pemrograman CUDA atau MPI. Gambar 2.9 menunjukkan arsitektur dari *Parallel Computing Toolbox*. PCT mampu berkerja hingga 12 “*worker*” atau Matlab *Lab* dalam satu mesin (komputer) (Krishnamurthy, Samsi, dan Gadepally, 2009 : 3).



Gambar 2.9 *Parallel Computing Toolbox*  
Sumber: Samsi (2008 : 9)

Pada *Parallel Computing Toolbox* ini terdapat beberapa fungsi yang digunakan untuk melakukan perhitungan secara komputasi paralel. Fungsi-fungsi penting yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1) *matlabpool*

Fungsi ini digunakan untuk menyediakan prosesor yang dapat digunakan untuk perhitungan paralel. Sebagai contoh, untuk mengeksekusi program

dalam paralel dengan 2 prosesor adalah dengan memasukkan fungsi *matlabpool open 2*. Matlab akan mengaktifkan 2 prosesor yang dapat berkerja untuk mengeksekusi program dalam paralel.

2) *spmd*

Dalam PCT, perhitungan paralel dengan SPMD (*single program multiple data*) ini dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *spmd* pada Matlab. Fungsi ini membagi program agar dapat dijalankan oleh masing-masing prosesor. Fungsi *spmd* bekerja apabila prosesor telah diaktifkan menggunakan *matlabpool*.

3) *codistributed*

Dalam PCT juga terdapat fungsi untuk mendistribusikan array yaitu fungsi *codistributed*. Fungsi ini dapat mendistribusikan suatu array atau matriks ke masing-masing prosesor agar dapat bekerja dalam paralel. Distribusi matriks ini dilakukan sesuai dengan jumlah dari *Lab* yang diaktifkan oleh *matlabpool*.

4) *gop* dan *gcat*

Kedua fungsi ini merupakan operasi yang dilakukan pada masing-masing prosesor. Fungsi *gop* digunakan untuk semua operasi umum yang dioperasikan pada setiap prosesor. Fungsi *gcat* digunakan untuk menyusun matriks dari masing-masing prosesor secara vertikal.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah mempelajari dan memahami konsep tentang analisis aliran daya listrik, algoritma paralel, dan teori-teori lain yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini.

#### 3.2 Pengambilan Data

Data-data yang digunakan adalah data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, dan skripsi yang relevan dengan pembahasan skripsi. Data sekunder yang digunakan adalah data bus dan data saluran antar bus dari sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus.

#### 3.3 Perancangan Aplikasi Analisis Aliran Daya

Perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dan paralel menggunakan *software* Matlab 2010a. Tampilan untuk aplikasi ini menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) yang terdapat pada Matlab. Dalam aplikasi terdapat 3 bagian, yaitu menu, sistem perhitungan sekuensial, dan sistem perhitungan paralel.

Menu merupakan tampilan awal untuk memasukkan data ke sistem. Pada tampilan menu terdapat 2 tombol, yaitu tombol untuk perhitungan sekuensial dan tombol untuk perhitungan paralel. Setelah data dimasukkan, perhitungan dapat dimulai dengan menggunakan perhitungan sekuensial atau perhitungan paralel.

Pada sistem perhitungan sekuensial, data akan diproses dengan melakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson komputasi sekuensial. *Listing* program Matlab komputasi sekuensial dibuat sesuai dengan perhitungan aliran daya dengan metode Newton Raphson.

Pada sistem perhitungan paralel, data melakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson komputasi paralel. Perhitungan

aliran daya dengan komputasi paralel ini menggunakan 2 prosesor. Sebelum itu, data diolah terlebih dahulu dengan memparalelkan ke masing-masing prosesor. Proses pengolahan data ini menggunakan cara pendistribusian matriks ke setiap prosesor.

Analisis aliran daya ini menghasilkan besar tegangan, sudut fasa tegangan, daya masing-masing bus, dan rugi-rugi daya setiap saluran. Hasil perhitungan aliran daya akan ditampilkan pada tabel yang terdapat di tampilan masing-masing sistem perhitungan. Selain itu hasil perhitungan dapat ditampilkan lebih lengkap pada laporan dalam bentuk *text file*.

### 3.4 Simulasi Perhitungan

Dengan menggunakan data sekunder yang telah diketahui, simulasi perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode Newton Raphson menggunakan aplikasi analisis aliran daya. Simulasi analisis aliran daya dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Memilih data IEEE yang digunakan sebagai data masukan pada menu.
2. Memasukkan nilai *error* dan maksimum iterasi yang digunakan.
3. Melakukan perhitungan aliran daya dengan komputasi sekuensial
4. Melakukan perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel

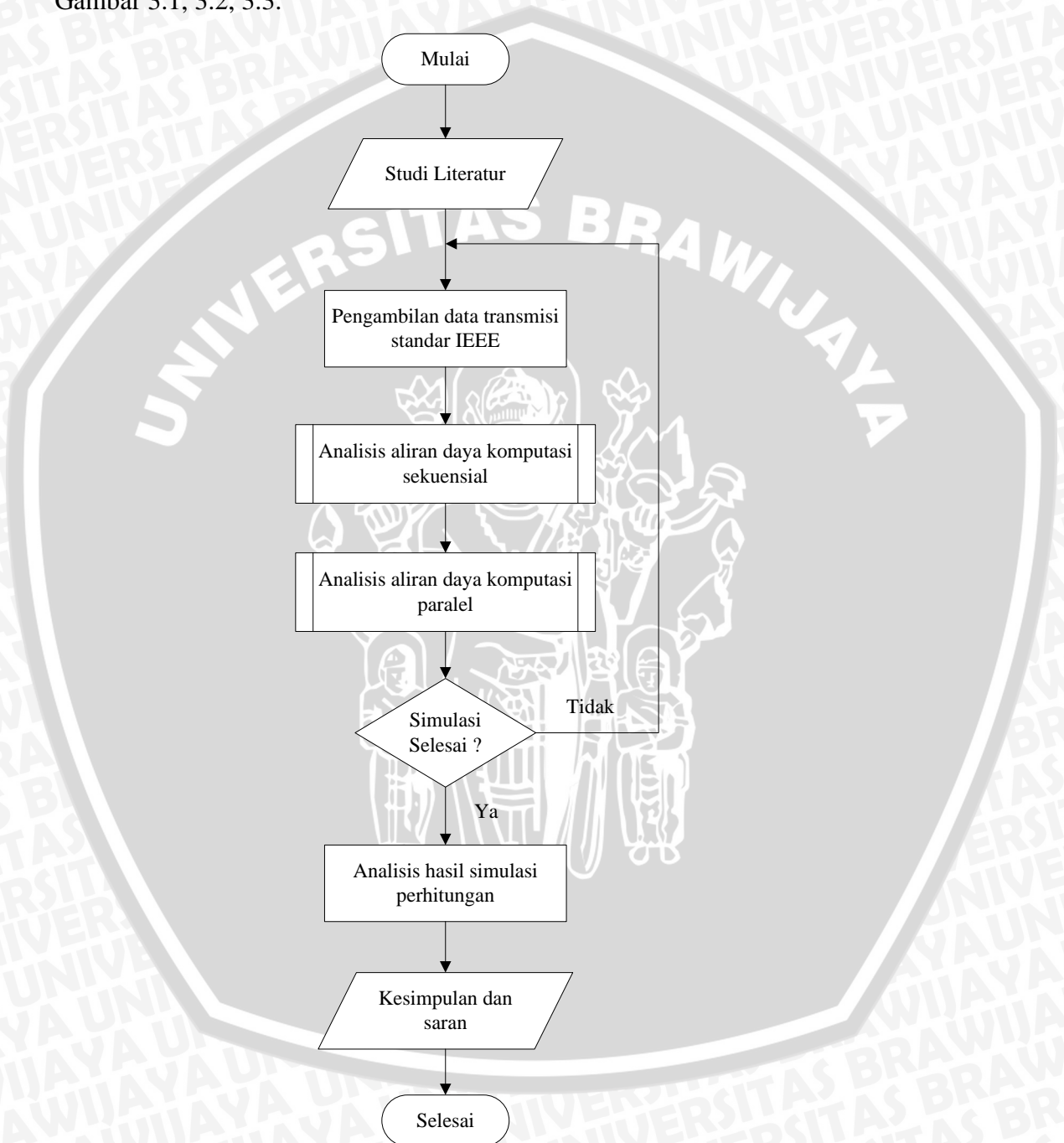
### 3.5 Analisis Hasil Perhitungan

Setelah melakukan simulasi analisis aliran daya, maka didapatkan hasil analisis aliran daya dari sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Selanjutnya hasil analisis aliran daya ini akan digunakan sebagai bahan analisis yang mengacu pada rumusan masalah, meliputi hal-hal sebagai berikut:

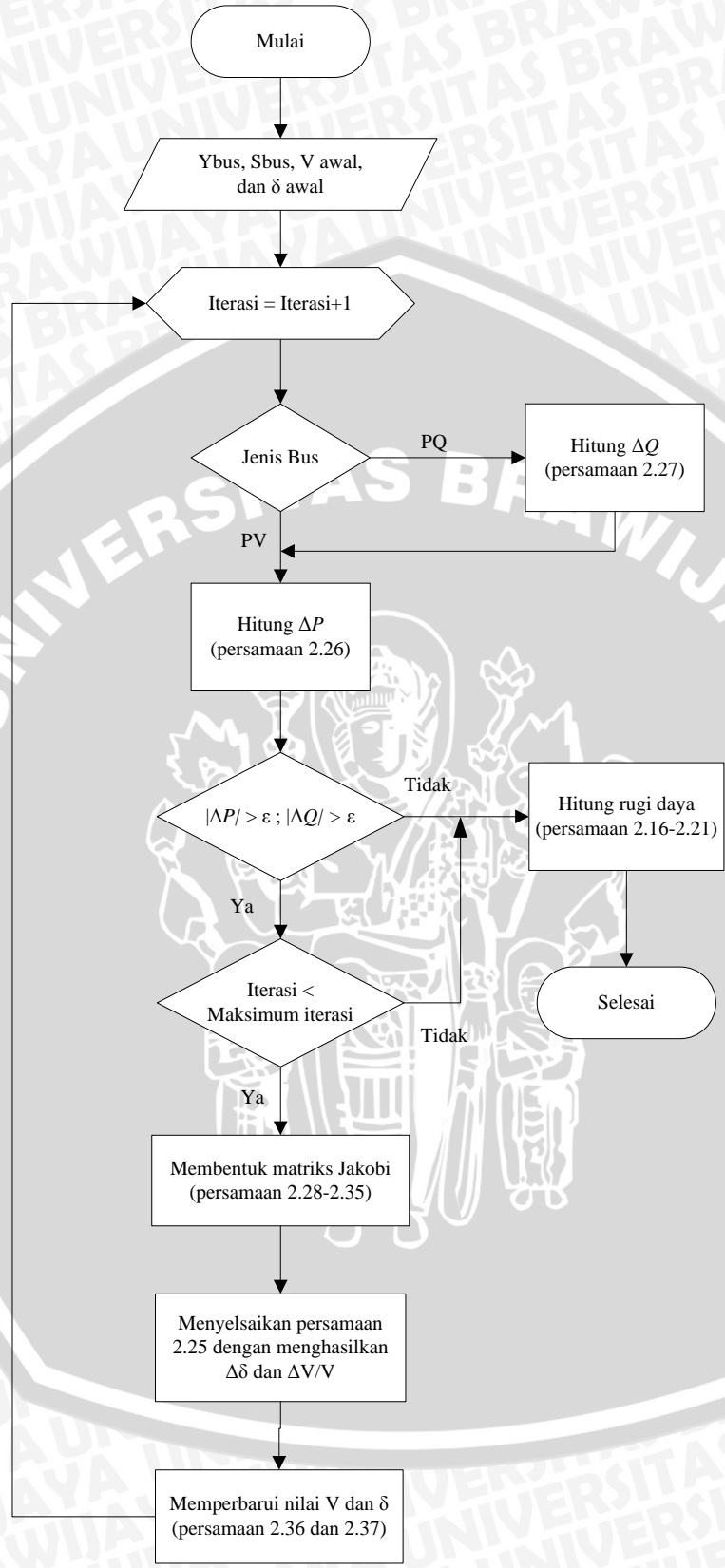
1. Perbandingan hasil perhitungan komputasi sekuensial dan perhitungan komputasi paralel.
2. Analisis tegangan hasil perhitungan aliran daya pada sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus dan 300 bus.
3. Perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk iterasi pada komputasi serial dan komputasi paralel.

### 3.6 Penutup

Pada bagian penutup akan dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari hasil simulasi dan analisis aliran daya. Langkah analisis aliran daya dengan komputasi paralel menggunakan metode *Newton Raphson* ini digambarkan pada Gambar 3.1, 3.2, 3.3.

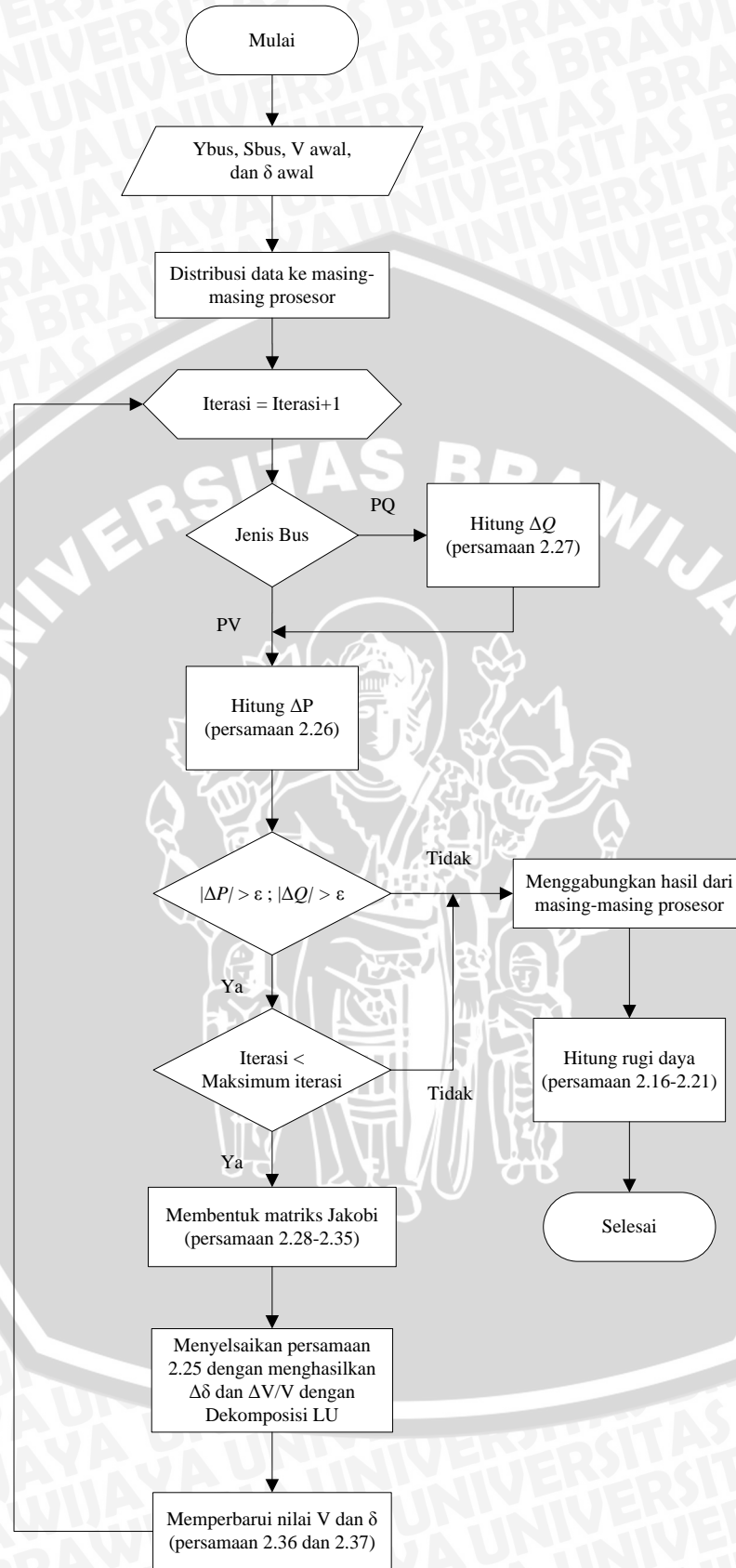


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian  
Sumber: Penulis



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan aliran daya komputasi sekuensial  
 Sumber : Penulis





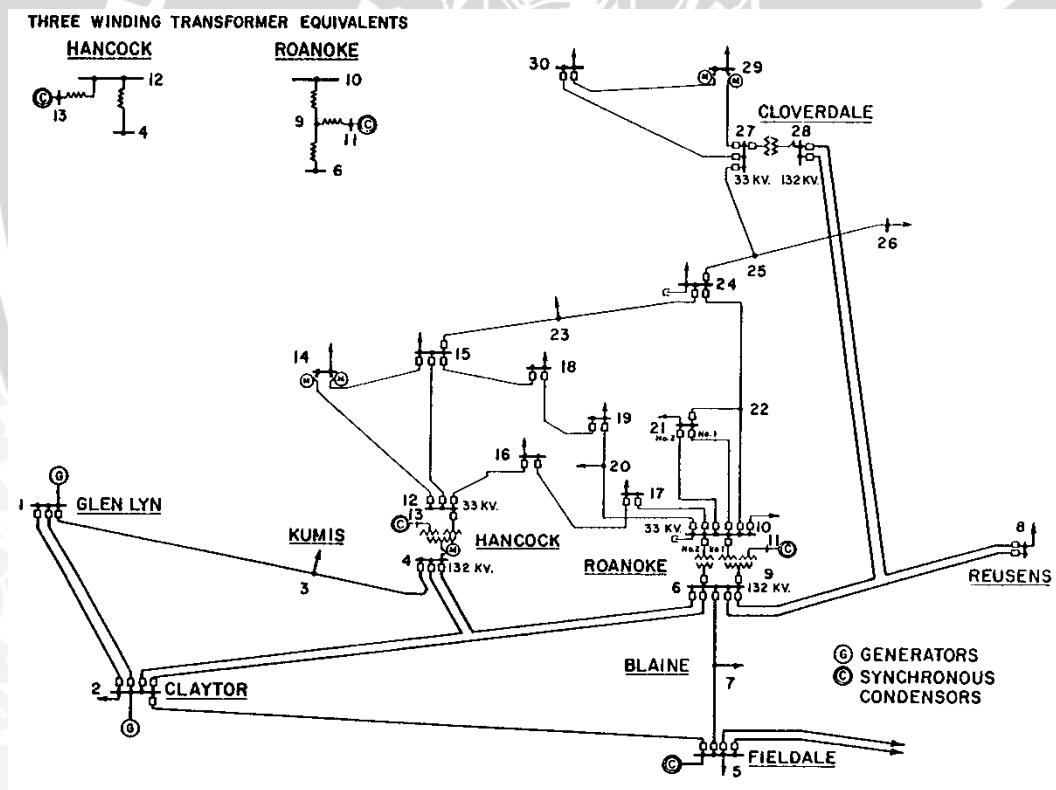
Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan aliran daya komputasi paralel  
 Sumber : Penulis

## BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas komputasi paralel yang diimplementasikan pada analisis aliran daya. Permasalahan yang akan dibahas adalah stabilitas sistem daya dan kecepatan perhitungan analisis aliran daya dengan komputasi paralel. Data yang digunakan adalah data sistem transmisi standar IEEE.

### 4.1 Sistem Transmisi Standar IEEE

Sistem transmisi standar IEEE yang digunakan dalam skripsi ini adalah sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Dalam makalah skripsi ini hanya ditampilkan data untuk sistem transmisi IEEE 30 bus. *Single line diagram* dari sistem transmisi 30 bus ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Single line diagram* sistem transmisi IEEE 30 bus  
Sumber: [www.ee.washington.edu](http://www.ee.washington.edu) (diakses tanggal 25 Juli 2012)

Sistem transmisi IEEE 30 bus ini memiliki jumlah bus sebanyak 30 bus yang terdiri atas 6 generator, 20 beban, dan 41 saluran transmisi. Generator dari sistem transmisi ini terdiri atas 1 *swing* bus dan 5 bus generator (PV bus). Bus 1 merupakan *swing* bus, sedangkan bus 2, 13, 22, 23, dan 27 merupakan bus generator. Bus yang lainnya merupakan bus beban (PQ bus).

Dalam Matlab, data sistem transmisi IEEE ini berbentuk fungsi yang berisi data dalam bentuk matriks. Fungsi *case30* untuk sistem transmisi IEEE 30 bus, *case118* untuk sistem transmisi IEEE 118 bus, dan *case300* untuk sistem transmisi IEEE 300 bus. Data yang terdapat pada setiap fungsi ini memiliki masukkan data, yaitu *bus*, *branch*, *gen*, dan *baseMVA*.

Data saluran antar bus dalam sistem transmisi IEEE 30 bus ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. Data saluran antar bus ini berisi data resistansi (R), reaktansi (X), dan *line charging* (B). Satuan dalam data ini adalah per unit (pu).

Tabel 4.1 Data saluran antar bus sistem transmisi IEEE 30 bus

| Bus kirim | Bus terima | R      | X      | B      |
|-----------|------------|--------|--------|--------|
| 1         | 2          | 0,0200 | 0,0600 | 0,0300 |
| 1         | 3          | 0,0500 | 0,1900 | 0,0200 |
| 2         | 4          | 0,0600 | 0,1700 | 0,0200 |
| 3         | 4          | 0,0100 | 0,0400 | 0,0000 |
| 2         | 5          | 0,0500 | 0,2000 | 0,0200 |
| 2         | 6          | 0,0600 | 0,1800 | 0,0200 |
| 4         | 6          | 0,0100 | 0,0400 | 0,0000 |
| 5         | 7          | 0,0500 | 0,1200 | 0,0100 |
| 6         | 7          | 0,0300 | 0,0800 | 0,0100 |
| 6         | 8          | 0,0100 | 0,0400 | 0,0000 |
| 6         | 9          | 0,0000 | 0,2100 | 0,0000 |
| 6         | 10         | 0,0000 | 0,5600 | 0,0000 |
| 9         | 11         | 0,0000 | 0,2100 | 0,0000 |
| 9         | 10         | 0,0000 | 0,1100 | 0,0000 |
| 4         | 12         | 0,0000 | 0,2600 | 0,0000 |
| 12        | 13         | 0,0000 | 0,1400 | 0,0000 |
| 12        | 14         | 0,1200 | 0,2600 | 0,0000 |
| 12        | 15         | 0,0700 | 0,1300 | 0,0000 |
| 12        | 16         | 0,0900 | 0,2000 | 0,0000 |
| 14        | 15         | 0,2200 | 0,2000 | 0,0000 |

| Bus kirim | Bus terima | R      | X      | B      |
|-----------|------------|--------|--------|--------|
| 16        | 17         | 0,0800 | 0,1900 | 0,0000 |
| 15        | 18         | 0,1100 | 0,2200 | 0,0000 |
| 18        | 19         | 0,0600 | 0,1300 | 0,0000 |
| 19        | 20         | 0,0300 | 0,0700 | 0,0000 |
| 10        | 20         | 0,0900 | 0,2100 | 0,0000 |
| 10        | 17         | 0,0300 | 0,0800 | 0,0000 |
| 10        | 21         | 0,0300 | 0,0700 | 0,0000 |
| 10        | 22         | 0,0700 | 0,1500 | 0,0000 |
| 21        | 22         | 0,0100 | 0,0200 | 0,0000 |
| 15        | 23         | 0,1000 | 0,2000 | 0,0000 |
| 22        | 24         | 0,1200 | 0,1800 | 0,0000 |
| 23        | 24         | 0,1300 | 0,2700 | 0,0000 |
| 24        | 25         | 0,1900 | 0,3300 | 0,0000 |
| 25        | 26         | 0,2500 | 0,3800 | 0,0000 |
| 25        | 27         | 0,1100 | 0,2100 | 0,0000 |
| 28        | 27         | 0,0000 | 0,4000 | 0,0000 |
| 27        | 29         | 0,2200 | 0,4200 | 0,0000 |
| 27        | 30         | 0,3200 | 0,6000 | 0,0000 |
| 29        | 30         | 0,2400 | 0,4500 | 0,0000 |
| 8         | 28         | 0,0600 | 0,2000 | 0,0200 |
| 6         | 28         | 0,0200 | 0,0600 | 0,0100 |

Sumber: [www.ee.washington.edu](http://www.ee.washington.edu) (diakses tanggal 25 Juli 2012)

Data bus dari sistem ini terdapat pada Tabel 4.2. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bus memiliki tipe bus masing-masing. Untuk tipe bus 1 merupakan bus beban (PQ bus), tipe bus 2 merupakan bus generator (PV bus), dan tipe bus 3 merupakan *swing bus*. Setiap data sudah dalam satuan per unit (pu), kecuali daya yang masih dalam satuan MVA. Untuk mengkonversi menjadi satuan per unit (pu), besar daya dibagi dengan daya dasar (MVA base), yaitu 100 MVA.



Tabel 4.2 Data bus dan generator sistem transmisi IEEE 30 bus

| Bus | Type bus | Pd      | Qd      | Pg       | Qg      | Vo     | $\theta_0$ | Vmax   | Vmin   |
|-----|----------|---------|---------|----------|---------|--------|------------|--------|--------|
| 1   | 3        | 0,0000  | 0, 0000 | 23,5400  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 2   | 2        | 21,7000 | 12,7000 | 60,9700  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,1000 | 0,9500 |
| 3   | 1        | 2,4000  | 1,2000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 4   | 1        | 7,6000  | 1,6000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 5   | 1        | 0,0000  | 0, 0000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 6   | 1        | 0,0000  | 0, 0000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 7   | 1        | 22,8000 | 10,9000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 8   | 1        | 30,0000 | 30,0000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 9   | 1        | 0,0000  | 0, 0000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 10  | 1        | 5,8000  | 2,0000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 11  | 1        | 0,0000  | 0, 0000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 12  | 1        | 11,2000 | 7,5000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 13  | 2        | 0,0000  | 0, 0000 | 37, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,1000 | 0,9500 |
| 14  | 1        | 6,2000  | 1,6000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 15  | 1        | 8,2000  | 2,5000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 16  | 1        | 3,5000  | 1,8000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 17  | 1        | 9,0000  | 5,8000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 18  | 1        | 3,2000  | 0,9000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 19  | 1        | 9,5000  | 3,4000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 20  | 1        | 2,2000  | 0,7000  | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 21  | 1        | 17,5000 | 11,2000 | 0, 0000  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 22  | 2        | 0,0000  | 0, 0000 | 21,5900  | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,1000 | 0,9500 |

| Bus | Type bus | Pd      | Qd      | Pg      | Qg      | Vo     | $\theta_0$ | Vmax   | Vmin   |
|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|------------|--------|--------|
| 23  | 2        | 3,2000  | 1,6000  | 19,2000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,1000 | 0,9500 |
| 24  | 1        | 8,7000  | 6,7000  | 0, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 25  | 1        | 0,0000  | 0, 0000 | 0, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 26  | 1        | 3,5000  | 2,3000  | 0, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 27  | 2        | 0,0000  | 0, 0000 | 26,9100 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,1000 | 0,9500 |
| 28  | 1        | 0,0000  | 0,0000  | 0, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 29  | 1        | 2,4000  | 0,9000  | 0, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |
| 30  | 1        | 10,6000 | 1,9000  | 0, 0000 | 0, 0000 | 1,0000 | 0, 0000    | 1,0500 | 0,9500 |

Sumber: [www.ee.washington.edu](http://www.ee.washington.edu) (diakses tanggal 25 Juli 2012)

**Keterangan:**

- Pd : Daya aktif beban  
 Qd : Daya reaktif beban  
 Pg : Daya aktif generator  
 Qg : Daya reaktif generator  
 Vo : Besar tegangan awal  
 $\theta_0$  : Sudut fasa tegangan awal  
 Vmax : Batas besar tegangan maksimum  
 Vmin : Batas besar tegangan minimum

## 4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk membentuk data yang sudah didapat menjadi data matriks. Data matriks ini yang digunakan dalam perhitungan aliran daya. Perhitungan aliran daya pada sistem transmisi area yang luas memiliki jumlah data yang banyak. Perhitungan dapat dilakukan sekaligus dengan jumlah bus yang banyak dengan menggunakan bentuk matriks ini,

Pengolahan data dilakukan dengan 2 tahap. Tahap pertama, pembentukan matriks data komputasi sekuensial dengan menggunakan data sistem transmisi. Tahap kedua, pembentukan matriks data komputasi paralel dengan menggunakan matriks data komputasi sekuensial yang sudah dibentuk pada tahap pertama. Berikut ini akan ditampilkan pengolahan data pada sistem transmisi IEEE 30 bus.

### 4.2.1 Pengolahan Data Komputasi Sekuensial

Dari data sistem transmisi, dibentuk matriks data sebagai data masukan perhitungan aliran daya. Matriks data yang dibentuk antara lain matriks besar tegangan awal ( $V$ ), matriks sudut fasa awal ( $\theta$ ), matriks daya ( $S_{bus}$ ), dan matriks admitansi ( $Y_{bus}$ ). Matriks-matriks tersebut digunakan untuk analisis aliran daya dengan komputasi sekuensial. Matriks data ini memiliki dimensi matriks sesuai dengan jumlah bus sistem transmisi yang digunakan. Untuk sistem transmisi IEEE 30 bus, matriks besar tegangan awal ( $V$ ), sudut fasa tegangan awal ( $\theta$ ), dan daya ( $S_{bus}$ ) memiliki dimensi matriks  $30 \times 1$  seperti pada Persamaan 4.1, 4.2, dan 4.3. Sedangkan untuk matriks admitansi ( $Y_{bus}$ ) memiliki dimensi matriks  $30 \times 30$  seperti pada Persamaan 4.4.

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_{30} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_{30} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$S_{bus} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_{30} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{130} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{230} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{301} & Y_{302} & \dots & Y_{3030} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Matriks besar tegangan dan sudut fasa tegangan awal didapatkan dari data awal. Karena semua nilai besar tegangan awal adalah 1 pu dan sudut fasa tegangan awal adalah  $0^\circ$ , maka matriks data dari besar tegangan dan sudut fasa tegangan dapat dinyatakan dengan  $[V] = 1$  dan  $[\theta] = 0$ .

Matriks daya didapatkan dari daya beban dan daya generator. Perhitungan daya menggunakan Persamaan 2.11 sampai 2.13. Kemudian matriks dikonversikan menjadi satuan per unit (pu) dengan membagi 100 MVA. Sehingga didapatkan hasil daya pada masing-masing bus pada Tabel 4.3. Dari hasil daya pada masing-masing bus ini dibentuk matriks  $30 \times 1$ .

Tabel 4.3 Daya masing-masing bus sistem transmisi IEEE 30 bus

| Bus | Daya (pu)           |
|-----|---------------------|
| 1   | 0,2354              |
| 2   | $0,3927 - 0,1270i$  |
| 3   | $-0,0240 - 0,0120i$ |
| 4   | $-0,0760 - 0,0160i$ |
| 5   | 0,0000              |
| 6   | 0,0000              |
| 7   | $-0,2280 - 0,1090i$ |
| 8   | $-0,3000 - 0,3000i$ |
| 9   | 0,0000              |
| 10  | $-0,0580 - 0,0200i$ |
| 11  | 0,0000              |
| 12  | $-0,1120 - 0,0750i$ |
| 13  | 0,3700              |
| 14  | $-0,0620 - 0,0160i$ |
| 15  | $-0,0820 - 0,0250i$ |
| 16  | $-0,0350 - 0,0180i$ |
| 17  | $-0,0900 - 0,0580i$ |
| 18  | $-0,0320 - 0,0090i$ |
| 19  | $-0,0950 - 0,0340i$ |
| 20  | $-0,0220 - 0,0070i$ |
| 21  | $-0,1750 - 0,1120i$ |
| 22  | 0,2159              |
| 23  | $0,1600 - 0,0160i$  |

| Bus | Daya (pu)           |
|-----|---------------------|
| 24  | $-0,0870 - 0,0670i$ |
| 25  | 0,0000              |
| 26  | $-0,0350 - 0,0230i$ |
| 27  | 0,2691              |
| 28  | 0,0000              |
| 29  | $-0,0240 - 0,0090i$ |
| 30  | $-0,1060 - 0,0190i$ |

Sumber: Hasil perhitungan

Dengan menggunakan Tabel 4.1, pembentukan matriks admitansi (Ybus) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.10. Hasil matriks Ybus ini berbentuk matriks 30x30. Matriks admitansi dalam sistem ini merupakan *sparse matriks*, yaitu matriks yang memiliki banyak nilai 0. Untuk menampilkan matriks admitansi tersebut dapat dilakukan dengan menghilangkan nilai 0 sehingga seperti pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 *Sparse* matriks Ybus

| (Baris , Kolom) | Matriks            |
|-----------------|--------------------|
| (1,1)           | 6.2953 - 19.8973i  |
| (2,1)           | -5.0000 + 15.0000i |
| (3,1)           | -1.2953 + 4.9223i  |
| (1,2)           | -5.0000 + 15.0000i |
| (2,2)           | 9.6893 - 29.8917i  |
| (4,2)           | -1.8462 + 5.2308i  |
| (5,2)           | -1.1765 + 4.7059i  |
| (6,2)           | -1.6667 + 5.0000i  |
| (1,3)           | -1.2953 + 4.9223i  |
| (3,3)           | 7.1777 - 28.4417i  |
| (4,3)           | -5.8824 + 23.5294i |
| (2,4)           | -1.8462 + 5.2308i  |
| (3,4)           | -5.8824 + 23.5294i |
| (4,4)           | 13.6109 - 56.1257i |
| (6,4)           | -5.8824 + 23.5294i |
| (12,4)          | 0 + 03.8462i       |
| (2,5)           | -1.1765 + 4.7059i  |
| (5,5)           | 4.1351 - 11.7896i  |
| (7,5)           | -2.9586 + 7.1006i  |
| (2,6)           | -1.6667 + 5.0000i  |
| (4,6)           | -5.8824 + 23.5294i |
| (6,6)           | 22.5410 - 84.5453i |
| (7,6)           | -4.1096 + 10.9589i |
| (8,6)           | -5.8824 + 23.5294i |

| (Baris , Kolom) | Matriks              |
|-----------------|----------------------|
| (9,6)           | $0 + 4.7619i$        |
| (10,6)          | $0 + 1.7857i$        |
| (28,6)          | $-5.0000 + 15.0000i$ |
| (5,7)           | $-2.9586 + 7.1006i$  |
| (6,7)           | $-4.1096 + 10.9589i$ |
| (7,7)           | $7.0682 - 18.0495i$  |
| (6,8)           | $-5.8824 + 23.5294i$ |
| (8,8)           | $7.2585 - 28.1066i$  |
| (28,8)          | $-1.3761 + 04.5872i$ |
| (6,9)           | $0 + 04.7619i$       |
| (9,9)           | $0 - 18.6147i$       |
| (10,9)          | $0 + 09.0909i$       |
| (11,9)          | $0 + 4.7619i$        |
| (6,10)          | $0 + 01.7857i$       |
| (9,10)          | $0 + 09.0909i$       |
| (10,10)         | $13.5609 - 43.4019i$ |
| (17,10)         | $-4.1096 + 10.9589i$ |
| (20,10)         | $-1.7241 + 4.0230i$  |
| (21,10)         | $-5.1724 + 12.0690i$ |
| (22,10)         | $-2.5547 + 05.4745i$ |
| (9,11)          | $0 + 4.7619i$        |
| (11,11)         | $0 - 4.7619i$        |
| (4,12)          | $0 + 3.8462i$        |
| (12,12)         | $6.5455 - 24.2810i$  |
| (13,12)         | $0 + 07.1429i$       |
| (14,12)         | $-1.4634 + 03.1707i$ |
| (15,12)         | $-3.2110 + 05.9633i$ |
| (16,12)         | $-1.8711 + 4.1580i$  |
| (12,13)         | $0 + 7.1429i$        |
| (13,13)         | $0 - 7.1429i$        |
| (12,14)         | $-1.4634 + 03.1707i$ |
| (14,14)         | $3.9521 - 05.4332i$  |
| (15,14)         | $-2.4887 + 02.2624i$ |
| (12,15)         | $-3.2110 + 05.9633i$ |
| (14,15)         | $-2.4887 + 02.2624i$ |
| (15,15)         | $9.5179 - 15.8621i$  |
| (18,15)         | $-1.8182 + 03.6364i$ |
| (23,15)         | $-2.0000 + 04.0000i$ |
| (12,16)         | $-1.8711 + 4.1580i$  |
| (16,16)         | $3.7535 - 8.6286i$   |
| (17,16)         | $-1.8824 + 4.4706i$  |
| (10,17)         | $-4.1096 + 10.9589i$ |
| (16,17)         | $-1.8824 + 4.4706i$  |
| (17,17)         | $5.9919 - 15.4295i$  |
| (15,18)         | $-1.8182 + 3.6364i$  |

| (Baris , Kolom) | Matriks             |
|-----------------|---------------------|
| (18,18)         | 4.7450 - 9.9778i    |
| (19,18)         | -2.9268 + 6.3415i   |
| (18,19)         | -2.9268 + 6.3415i   |
| (19,19)         | 8.0992 - 18.4104i   |
| (20,19)         | -5.1724 + 12.0690i  |
| (10,20)         | -1.7241 + 4.0230i   |
| (19,20)         | -5.1724 + 12.0690i  |
| (20,20)         | 6.8966 - 16.0920i   |
| (10,21)         | -5.1724 + 12.0690i  |
| (21,21)         | 25.1724 - 52.0690i  |
| (22,21)         | -20.0000 + 40.0000i |
| (10,22)         | -2.5547 + 05.4745i  |
| (21,22)         | -20.0000 + 40.0000i |
| (22,22)         | 25.1188 - 49.3206i  |
| (24,22)         | -2.5641 + 03.8462i  |
| (15,23)         | -2.0000 + 04.0000i  |
| (23,23)         | 3.4477 - 07.0067i   |
| (24,23)         | -1.4477 + 03.0067i  |
| (22,24)         | -2.5641 + 03.8462i  |
| (23,24)         | -1.4477 + 03.0067i  |
| (24,24)         | 5.3221 - 9.1283i    |
| (25,24)         | -1.3103 + 2.2759i   |
| (24,25)         | -1.3103 + 2.2759i   |
| (25,25)         | 4.4760 - 07.8492i   |
| (26,25)         | -1.2083 + 01.8366i  |
| (27,25)         | -1.9573 + 03.7367i  |
| (25,26)         | -1.2083 + 01.8366i  |
| (26,26)         | 1.2083 - 1.8366i    |
| (25,27)         | -1.9573 + 3.7367i   |
| (27,27)         | 3.6280 - 9.4026i    |
| (28,27)         | 0 + 2.5000i         |
| (29,27)         | -0.9786 + 01.8683i  |
| (30,27)         | -0.6920 + 01.2976i  |
| (6,28)          | -5.0000 + 15.0000i  |
| (8,28)          | -1.3761 + 04.5872i  |
| (27,28)         | 0 + 02.5000i        |
| (28,28)         | 6.3761 - 22.0722i   |
| (27,29)         | -0.9786 + 01.8683i  |
| (29,29)         | 1.9014 - 3.5984i    |
| (30,29)         | -0.9227 + 1.7301i   |
| (27,30)         | -0.6920 + 1.2976i   |
| (29,30)         | -0.9227 + 1.7301i   |
| (30,30)         | 1.6148 - 3.0277i    |

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.2 Pengolahan Data Komputasi Paralel

Matriks data komputasi paralel merupakan matriks data komputasi sekuensial yang diparalelkan ke masing-masing prosesor. Matriks data komputasi paralel ini digunakan untuk perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel. Matriks data tersebut didistribusikan sesuai dengan jumlah prosesor yang digunakan. Paralel matriks data dilakukan dengan distribusi matriks. Fungsi pendistribusian matriks ini agar setiap prosesor tidak terbebani perhitungan data dalam bentuk matriks yang besar. Dengan matriks yang diparalelkan ini komputer mampu menghitung persamaan-persamaan aliran daya dengan lebih cepat.

Dalam Matlab, distribusi matriks dikerjakan dengan menggunakan perintah *codistributed*. Matriks didistribusikan ke masing-masing prosesor dengan jumlah matriks yang seimbang. Dengan perintah *matlabpool open 2*, Matlab akan mengaktifkan 2 prosesor yang digunakan untuk proses paralel,. Fungsi *codistributed* pada Matlab akan bekerja dalam fungsi *spmd*. Fungsi *spmd* berfungsi untuk menentukan jumlah prosesor yang digunakan sesuai dengan jumlah prosesor yang sudah diaktifkan. *Listing program* untuk pendistribusian matriks ke masing-masing prosesor (lab) adalah sebagai berikut:

```
spmd
    % distributsi matrix ke masing-masing lab
    Ypar=codistributed(Ybus,codistributorld(1)); % Ybus paralel
    Spar=codistributed(Sbus); % Sbus paralel
    Vpar=codistributed(V); % V paralel
    dpar=codistributed(d); % d paralel
end
```

Matriks  $V$ ,  $\theta$ , dan  $S_{bus}$  didistribusikan dengan membagi dimensi matriks menjadi 2 matriks. Matriks  $V$ ,  $d$ , dan  $S_{bus}$  memiliki bentuk matriks  $30 \times 1$ . Dengan didistribusikan ke masing-masing prosesor, matriks  $V$ ,  $\theta$ , dan  $S_{bus}$  menjadi matriks  $15 \times 1$  pada masing-masing prosesor. Dengan kata lain, masing-masing data matriks didistribusikan mengikuti nomor bus. Matriks pada bus 1-15 terdapat pada prosesor pertama dan bus 16-30 terdapat pada prosesor kedua seperti pada Persamaan 4.5, 4.6, dan 4.7. Pada masing-masing prosesor, matriks  $V$  dan  $\theta$  dapat dinyatakan dengan  $[V_{paralel}] = 1$  dan  $[\theta_{paralel}] = 0$ . Sedangkan matriks  $S_{bus}$  pada masing-masing prosesor dapat dinyatakan seperti pada Tabel 4.5.



$$\begin{matrix} \text{Prosesor 1} & & \text{Prosesor 2} \\ V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_{15} \end{bmatrix} & & V = \begin{bmatrix} V_{16} \\ V_{17} \\ \vdots \\ V_{30} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.5)$$

$$\begin{matrix} \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_{15} \end{bmatrix} & & \theta = \begin{bmatrix} \theta_{16} \\ \theta_{17} \\ \vdots \\ \theta_{30} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.6)$$

$$\begin{matrix} S_{bus} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_{15} \end{bmatrix} & & S_{bus} = \begin{bmatrix} S_{16} \\ S_{17} \\ \vdots \\ S_{30} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.7)$$

Tabel 4.5 Matriks Sbus komputasi paralel

| Lab 1 |                         | Lab 2 |                         |
|-------|-------------------------|-------|-------------------------|
| Bus   | Sbus <sub>paralel</sub> | Bus   | Sbus <sub>paralel</sub> |
| 1     | 0,2354                  | 16    | -0,0350 - 0,0180i       |
| 2     | 0,3927 - 0,1270i        | 17    | -0,0900 - 0,0580i       |
| 3     | -0,0240 - 0,0120i       | 18    | -0,0320 - 0,0090i       |
| 4     | -0,0760 - 0,0160i       | 19    | -0,0950 - 0,0340i       |
| 5     | 0,0000                  | 20    | -0,0220 - 0,0070i       |
| 6     | 0,0000                  | 21    | -0,1750 - 0,1120i       |
| 7     | -0,2280 - 0,1090i       | 22    | 0,2159                  |
| 8     | -0,3000 - 0,3000i       | 23    | 0,1600 - 0,0160i        |
| 9     | 0,0000                  | 24    | -0,0870 - 0,0670i       |
| 10    | -0,0580 - 0,0200i       | 25    | 0,0000                  |
| 11    | 0,0000                  | 26    | -0,0350 - 0,0230i       |
| 12    | -0,1120 - 0,0750i       | 27    | 0,2691                  |
| 13    | 0,3700                  | 28    | 0,0000                  |
| 14    | -0,0620 - 0,0160i       | 29    | -0,0240 - 0,0090i       |
| 15    | -0,0820 - 0,0250i       | 30    | -0,1060 - 0,0190i       |

Sumber: Hasil perhitungan

Pendistribusian matriks Ybus ke masing-masing prosesor berbeda dengan data matriks yang lain. Pada komputasi sekuensial matriks Ybus berbentuk matriks dengan dimensi 30x30. Pembagian matriks dilakukan dengan membagi 2 bagian matriks secara horizontal seperti pada Persamaan 4.8. Sehingga matriks Ybus paralel memiliki dimensi matriks 15x30 pada masing-masing prosesor dapat dinyatakan seperti pada Tabel 4.6.



$$\begin{matrix}
 \text{Prosesor 1} & & \text{Prosesor 2} \\
 Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{130} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{230} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{151} & Y_{152} & \dots & Y_{1530} \end{bmatrix} & & Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{161} & Y_{162} & \dots & Y_{1630} \\ Y_{171} & Y_{172} & \dots & Y_{1730} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{301} & Y_{302} & \dots & Y_{3030} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (4.8)$$

Tabel 4.6 Sparse matriks  $Y_{bus}$  pada masing-masing prosesor

| Lab 1         |                     | Lab 2         |                     |
|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
| (Baris,Kolom) | $Y_{bus_{paralel}}$ | (Baris,Kolom) | $Y_{bus_{paralel}}$ |
| (1,1)         | 6.2953 - 19.8973i   | (28,6)        | -5.0000 + 15.0000i  |
| (2,1)         | -5.0000 + 15.0000i  | (28,8)        | -1.3761 + 04.5872i  |
| (3,1)         | -1.2953 + 04.9223i  | (17,10)       | -4.1096 + 10.9589i  |
| (1,2)         | -5.0000 + 15.0000i  | (20,10)       | -1.7241 + 04.0230i  |
| (2,2)         | 9.6893 - 29.8917i   | (21,10)       | -5.1724 + 12.0690i  |
| (4,2)         | -1.8462 + 05.2308i  | (22,10)       | -2.5547 + 05.4745i  |
| (5,2)         | -1.1765 + 04.7059i  | (16,12)       | -1.8711 + 04.1580i  |
| (6,2)         | -1.6667 + 05.0000i  | (18,15)       | -1.8182 + 03.6364i  |
| (1,3)         | -1.2953 + 04.9223i  | (23,15)       | -2.0000 + 04.0000i  |
| (3,3)         | 7.1777 - 28.4417i   | (16,16)       | 3.7535 - 08.6286i   |
| (4,3)         | -5.8824 + 23.5294i  | (17,16)       | -1.8824 + 04.4706i  |
| (2,4)         | -1.8462 + 05.2308i  | (16,17)       | -1.8824 + 04.4706i  |
| (3,4)         | -5.8824 + 23.5294i  | (17,17)       | 5.9919 - 15.4295i   |
| (4,4)         | 13.6109 - 56.1257i  | (18,18)       | 4.7450 - 09.9778i   |
| (6,4)         | -5.8824 + 23.5294i  | (19,18)       | -2.9268 + 06.3415i  |
| (12,4)        | 0 + 03.8462i        | (18,19)       | -2.9268 + 06.3415i  |
| (2,5)         | -1.1765 + 04.7059i  | (19,19)       | 8.0992 - 18.4104i   |
| (5,5)         | 4.1351 - 11.7896i   | (20,19)       | -5.1724 + 12.0690i  |
| (7,5)         | -2.9586 + 07.1006i  | (19,20)       | -5.1724 + 12.0690i  |
| (2,6)         | -1.6667 + 05.0000i  | (20,20)       | 6.8966 - 16.0920i   |
| (4,6)         | -5.8824 + 23.5294i  | (21,21)       | 25.1724 - 52.0690i  |
| (6,6)         | 22.5410 - 84.5453i  | (22,21)       | -20.0000 + 40.0000i |
| (7,6)         | -4.1096 + 10.9589i  | (21,22)       | -20.0000 + 40.0000i |
| (8,6)         | -5.8824 + 23.5294i  | (22,22)       | 25.1188 - 49.3206i  |
| (9,6)         | 0 + 4.7619i         | (24,22)       | -2.5641 + 3.8462i   |
| (10,6)        | 0 + 1.7857i         | (23,23)       | 3.4477 - 7.0067i    |
| (5,7)         | -2.9586 + 7.1006i   | (24,23)       | -1.4477 + 3.0067i   |
| (6,7)         | -4.1096 + 10.9589i  | (22,24)       | -2.5641 + 3.8462i   |

| Lab 1         |                     |
|---------------|---------------------|
| (Baris,Kolom) | $Y_{bus_{paralel}}$ |
| (7,7)         | 7.0682 - 18.0495i   |
| (6,8)         | -5.8824 + 23.5294i  |
| (8,8)         | 7.2585 - 28.1066i   |
| (6,9)         | 0 + 4.7619i         |
| (9,9)         | 0 - 18.6147i        |
| (10,9)        | 0 + 9.0909i         |
| (11,9)        | 0 + 04.7619i        |
| (6,10)        | 0 + 01.7857i        |
| (9,10)        | 0 + 09.0909i        |
| (10,10)       | 13.5609 - 43.4019i  |
| (9,11)        | 0 + 04.7619i        |
| (11,11)       | 0 - 04.7619i        |
| (4,12)        | 0 + 03.8462i        |
| (12,12)       | 6.5455 - 24.2810i   |
| (13,12)       | 0 + 7.1429i         |
| (14,12)       | -1.4634 + 3.1707i   |
| (15,12)       | -3.2110 + 5.9633i   |
| (12,13)       | 0 + 7.1429i         |
| (13,13)       | 0 - 07.1429i        |
| (12,14)       | -1.4634 + 03.1707i  |
| (14,14)       | 3.9521 - 5.4332i    |
| (15,14)       | -2.4887 + 2.2624i   |
| (12,15)       | -3.2110 + 5.9633i   |
| (14,15)       | -2.4887 + 02.2624i  |
| (15,15)       | 9.5179 - 15.8621i   |
| (12,16)       | -1.8711 + 04.1580i  |
| (10,17)       | -4.1096 + 10.9589i  |
| (15,18)       | -1.8182 + 03.6364i  |
| (10,20)       | -1.7241 + 04.0230i  |
| (10,21)       | -5.1724 + 12.0690i  |
| (10,22)       | -2.5547 + 05.4745i  |
| (15,23)       | -2.0000 + 4.0000i   |
| (6,28)        | -5.0000 + 15.0000i  |
| (8,28)        | -1.3761 + 4.5872i   |

| Lab 2         |                     |
|---------------|---------------------|
| (Baris,Kolom) | $Y_{bus_{paralel}}$ |
| (23,24)       | -1.4477 + 3.0067i   |
| (24,24)       | 5.3221 - 9.1283i    |
| (25,24)       | -1.3103 + 2.2759i   |
| (24,25)       | -1.3103 + 2.2759i   |
| (25,25)       | 4.4760 - 7.8492i    |
| (26,25)       | -1.2083 + 1.8366i   |
| (27,25)       | -1.9573 + 3.7367i   |
| (25,26)       | -1.2083 + 1.8366i   |
| (26,26)       | 1.2083 - 1.8366i    |
| (25,27)       | -1.9573 + 03.7367i  |
| (27,27)       | 3.6280 - 09.4026i   |
| (28,27)       | 0 + 2.5000i         |
| (29,27)       | -0.9786 + 01.8683i  |
| (30,27)       | -0.6920 + 01.2976i  |
| (27,28)       | 0 + 02.5000i        |
| (28,28)       | 6.3761 - 22.0722i   |
| (27,29)       | -0.9786 + 01.8683i  |
| (29,29)       | 1.9014 - 03.5984i   |
| (30,29)       | -0.9227 + 01.7301i  |
| (27,30)       | -0.6920 + 01.2976i  |
| (29,30)       | -0.9227 + 01.7301i  |
| (30,30)       | 1.6148 - 03.0277i   |

Sumber: Hasil perhitungan

### 4.3 Algoritma Perhitungan Aliran Daya Komputasi Paralel

Perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel menggunakan data matriks paralel dengan proses perhitungan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.3. Alur perhitungan perhitungan aliran daya komputasi paralel sama dengan perhitungan aliran daya komputasi sekuensial. Sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.3, maka algoritma perhitungan aliran daya komputasi paralel adalah sebagai berikut:

1. Pendistribusian matriks data pada masing-masing prosesor seperti pada Persamaan 4.5 - 4.8.
2. Nilai  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  merupakan nilai *real* dan *imaginer* dari nilai  $\Delta S$ . Nilai tersebut merupakan pengurangan daya diketahui ( $S$ ) dengan daya hitung ( $S^{hit}$ ). Nilai  $S^{hit}$  dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.15. Untuk menghitung arus pada bus  $p$  ( $I_p$ ) dinyatakan pada Persamaan 4.9 dan 4.11. Setiap prosesor menghitung arus pada nomor bus masing-masing. Sebelum perhitungan arus pada bus  $p$ , matriks tegangan ( $V$ ) dan matriks sudut fasa tegangan ( $\theta$ ) pada setiap prosesor digabung terlebih dahulu sehingga perkalian melibatkan matriks  $Y_{bus}$  dengan dimensi matriks  $15 \times 30$  dan matriks  $V \angle \theta$  dengan dimensi matriks  $30 \times 1$ . Nilai  $I_p$  yang dihasilkan memiliki dimensi  $15 \times 1$ . Kemudian sesuai dengan Persamaan 2.15, perhitungan  $S^{hit}$  di setiap prosesor dapat dinyatakan pada Persamaan 4.10 dan 4.12. Dengan menggunakan Persamaan 4.11 dan 4.14 dihasilkan nilai  $\Delta S$  di setiap prosesor.

- Prosesor 1

$$\begin{bmatrix} I_{p.2} \\ I_{p.3} \\ \vdots \\ I_{p.15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{230} \\ Y_{31} & Y_{32} & \cdots & Y_{230} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{151} & Y_{152} & \cdots & Y_{1530} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \angle \theta_1 \\ V_2 \angle \theta_2 \\ \vdots \\ V_{30} \angle \theta_{30} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$\begin{bmatrix} S^{hit}_1 \\ S^{hit}_2 \\ \vdots \\ S^{hit}_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_2 \angle \theta_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{15} \angle \theta_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{p.1} \\ I_{p.2} \\ \vdots \\ I_{p.15} \end{bmatrix}^* \quad (4.10)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta S_1 \\ \Delta S_2 \\ \vdots \\ \Delta S_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_{15} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} S^{hit}_1 \\ S^{hit}_2 \\ \vdots \\ S^{hit}_{15} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

- Prosesor 2

$$\begin{bmatrix} I_{p,16} \\ I_{p,17} \\ \vdots \\ I_{p,30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{161} & Y_{162} & \cdots & Y_{1630} \\ Y_{171} & Y_{172} & \cdots & Y_{1730} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{301} & Y_{302} & \cdots & Y_{3030} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \angle \theta_1 \\ V_2 \angle \theta_2 \\ \vdots \\ V_{30} \angle \theta_{30} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$\begin{bmatrix} S_{16}^{hit} \\ S_{17}^{hit} \\ \vdots \\ S_{30}^{hit} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{16} \angle \theta_{16} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_{17} \angle \theta_{17} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{30} \angle \theta_{30} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{p,16} \\ I_{p,17} \\ \vdots \\ I_{p,30} \end{bmatrix}^* \quad (4.13)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta S_{16} \\ \Delta S_{17} \\ \vdots \\ \Delta S_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{16} \\ S_{17} \\ \vdots \\ S_{30} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} S_{16}^{hit} \\ S_{17}^{hit} \\ \vdots \\ S_{30}^{hit} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

3. Perhitungan matriks Jakobi menggunakan Persamaan 2.28 – 2.35. Matriks Jakobi terdiri dari matriks H, N, J, dan L. Untuk mendapatkan elemen matriks H digunakan Persamaan 2.28 dan 2.32. Misalkan  $GG_{pq} = G_{pq} \sin \theta_{pq}$  dan  $BB_{pq} = B_{pq} \cos \theta_{pq}$ , sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

- Prosesor 1

$$GG_{pq} = \begin{bmatrix} G_{22} \sin \theta_{22} & G_{23} \sin \theta_{23} & \cdots & G_{230} \sin \theta_{230} \\ G_{32} \sin \theta_{32} & G_{33} \sin \theta_{33} & \cdots & G_{330} \sin \theta_{330} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{152} \sin \theta_{152} & G_{153} \sin \theta_{153} & \cdots & G_{1530} \sin \theta_{1530} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

$$BB_{pq} = \begin{bmatrix} B_{22} \cos \theta_{22} & B_{23} \cos \theta_{23} & \cdots & B_{230} \cos \theta_{230} \\ B_{32} \cos \theta_{32} & B_{33} \cos \theta_{33} & \cdots & B_{330} \cos \theta_{330} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{152} \cos \theta_{152} & B_{153} \cos \theta_{153} & \cdots & B_{1530} \cos \theta_{1530} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

- Prosesor 2

$$GG_{pq} = \begin{bmatrix} G_{162} \sin \theta_{162} & G_{163} \sin \theta_{163} & \cdots & G_{1630} \sin \theta_{1630} \\ G_{172} \sin \theta_{172} & G_{172} \sin \theta_{172} & \cdots & G_{1730} \sin \theta_{1730} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{302} \sin \theta_{302} & G_{303} \sin \theta_{303} & \cdots & G_{3030} \sin \theta_{3030} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

$$BB_{pq} = \begin{bmatrix} B_{162} \cos \theta_{162} & B_{163} \cos \theta_{163} & \cdots & B_{1630} \cos \theta_{1630} \\ B_{172} \cos \theta_{172} & B_{172} \cos \theta_{172} & \cdots & B_{1730} \cos \theta_{1730} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{302} \cos \theta_{302} & B_{303} \cos \theta_{303} & \cdots & B_{3030} \cos \theta_{3030} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Persamaan 2.28 digunakan untuk menghitung komponen non-diagonal dari matriks H. Sesuai dengan Persamaan 2.28, komponen diagonal  $GG_{pq}$  dan  $BB_{pq}$  pada Persamaan 4.15 – 4.18 dihilangkan dan dianggap nol. Perhitungan Persamaan 2.28 pada setiap prosesor dapat ditulis seperti pada Persamaan 4.19 – 4.22.

- Prosesor 1

$$I_{pq} = \left( \begin{bmatrix} 0 & \cdots & GG_{230} \\ GG_{32} & \cdots & GG_{230} \\ \vdots & & \vdots \\ GG_{152} & \cdots & GG_{1530} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \cdots & BB_{230} \\ BB_{32} & \cdots & BB_{230} \\ \vdots & & \vdots \\ BB_{152} & \cdots & BB_{1530} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} V_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{30} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & H_{23} & \cdots & H_{230} \\ H_{32} & 0 & \cdots & H_{330} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{152} & H_{153} & \cdots & H_{1530} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & I_{23} & \cdots & I_{230} \\ I_{32} & 0 & \cdots & I_{330} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{152} & I_{153} & \cdots & I_{1530} \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

- Prosesor 2

$$I_{pq} = \left( \begin{bmatrix} GG_{162} & \cdots & GG_{1630} \\ GG_{172} & \cdots & GG_{1730} \\ \vdots & & \vdots \\ GG_{302} & \cdots & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} BB_{162} & \cdots & BB_{1630} \\ BB_{172} & \cdots & BB_{1730} \\ \vdots & & \vdots \\ BB_{302} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} V_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{30} \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

$$\begin{bmatrix} H_{162} & H_{163} & \cdots & H_{1630} \\ H_{172} & H_{172} & \cdots & H_{1730} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{302} & H_{303} & \cdots & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{16} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_{17} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{30} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{162} & I_{163} & \cdots & I_{1630} \\ I_{172} & I_{172} & \cdots & I_{1730} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{302} & I_{303} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

Sedangkan perhitungan komponen diagonal dari matriks H menggunakan Persamaan 2.32. Dengan menggunakan Persamaan 4.15 – 4.18, perhitungan Persamaan 2.32 pada setiap prosesor dapat ditulis seperti pada Persamaan 4.23 – 4.26.

- Prosesor 1

$$I_{pq} = \left( - \begin{bmatrix} GG_{22} & \cdots & GG_{230} \\ GG_{32} & \cdots & GG_{230} \\ \vdots & & \vdots \\ GG_{152} & \cdots & GG_{1530} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} BB_{22} & \cdots & BB_{230} \\ BB_{32} & \cdots & BB_{230} \\ \vdots & & \vdots \\ BB_{152} & \cdots & BB_{1530} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ \vdots \\ V_{30} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

$$\begin{bmatrix} H_{22} \\ H_{33} \\ \vdots \\ H_{1515} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{22} \\ I_{33} \\ \vdots \\ I_{1515} \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

- Prosesor 2

$$I_{pq} = \left( - \begin{bmatrix} GG_{162} & \cdots & GG_{1630} \\ GG_{172} & \cdots & GG_{1730} \\ \vdots & & \vdots \\ GG_{302} & \cdots & GG_{3030} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} BB_{162} & \cdots & BB_{1630} \\ BB_{172} & \cdots & BB_{1730} \\ \vdots & & \vdots \\ BB_{302} & \cdots & BB_{3030} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ \vdots \\ V_{30} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

$$\begin{bmatrix} H_{1616} \\ H_{1717} \\ \vdots \\ H_{3030} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{16} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_{17} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & V_{30} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{16} \\ I_{17} \\ \vdots \\ I_{30} \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

Matriks H dibentuk dengan menjumlahkan komponen non-diagonal dan komponen diagonal yang sudah dihitung seperti berikut:

- Prosesor 1

$$\begin{bmatrix} H_{22} & H_{23} & \cdots & H_{230} \\ H_{32} & H_{33} & \cdots & H_{330} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_{152} & H_{153} & \cdots & H_{1530} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & H_{23} & \cdots & H_{230} \\ H_{32} & 0 & \cdots & H_{330} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_{152} & H_{153} & \cdots & H_{1530} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{22} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & H_{33} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & H_{1515} \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

- Prosesor 2

$$\begin{bmatrix} H_{162} & H_{163} & \cdots & H_{1630} \\ H_{172} & H_{173} & \cdots & H_{1730} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_{302} & H_{303} & \cdots & H_{3030} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{162} & H_{163} & \cdots & H_{1630} \\ H_{172} & H_{173} & \cdots & H_{1730} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_{302} & H_{303} & \cdots & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{16} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & H_{1717} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & H_{3030} \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

Setelah matriks H pada setiap prosesor didapatkan, masing-masing matriks H digabungkan sehingga setiap prosesor memiliki matriks H yang sama. Pada setiap prosesor memiliki matriks H seperti pada Persamaan 4.29.

$$H = \begin{bmatrix} H_{22} & H_{23} & \cdots & H_{230} \\ H_{32} & H_{33} & \cdots & H_{330} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{302} & H_{303} & \cdots & H_{3030} \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

Proses perhitungan matriks N, J, dan L sama dengan proses perhitungan matriks H. Pembentukan matriks H, N, J, dan L perlu memperhatikan jenis bus karena dimensi matriks yang dihasilkan dari masing-masing matriks sesuai dengan jumlah dari jenis bus. Matriks H dipengaruhi oleh jumlah bus PQ, sedangkan matriks L dipengaruhi oleh jumlah bus PV. Untuk matriks N dan J dipengaruhi oleh jumlah bus PQ dan PV.

4. Setelah semua komponen dari Persamaan 2.25 didapatkan, proses selanjutnya adalah menyelesaikan persamaan linier dari Persamaan 2.25 dengan

menggunakan dekomposisi LU. Di setiap prosesor menjalankan perintah dengan nilai matriks dari komponen Persamaan 2.25 yang sama. Di masing-masing prosesor memiliki persamaan linier sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_{30} \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{22} & \cdots & H_{230} & N_{22} & \cdots & N_{230} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{302} & \cdots & H_{3030} & N_{302} & \cdots & N_{3030} \\ J_{22} & \cdots & J_{230} & L_{22} & \cdots & L_{230} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ J_{302} & \cdots & J_{3030} & L_{302} & \cdots & L_{3030} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_2 \\ \vdots \\ \Delta\theta_{30} \\ \Delta V_2/V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_{30}/V_3 \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

Proses dekomposisi LU dimulai dengan menguraikan matriks Jakobi menjadi matriks L dan U seperti pada Persamaan 2.39. Kemudian penyelesaian persamaan tersebut dengan menggunakan Persamaan 4.31 dan 4.32. Penyelesaiannya sesuai dengan langkah pada Persamaan 2.44 – 2.47.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ l_{21} & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ l_{31} & l_{32} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ l_{41} & l_{42} & l_{43} & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{581} & l_{582} & l_{583} & l_{584} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ \vdots \\ y_{58} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_{30} \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{30} \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} & \cdots & u_{158} \\ 0 & u_{22} & u_{23} & u_{24} & \cdots & u_{258} \\ 0 & 0 & u_{33} & u_{34} & \cdots & u_{358} \\ 0 & 0 & 0 & u_{44} & \cdots & u_{458} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_2 \\ \vdots \\ \Delta\theta_{30} \\ \Delta V_2/V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_{30}/V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ \vdots \\ y_{58} \end{bmatrix} \quad (4.32)$$

5. Nilai  $\Delta\theta$  dan  $\Delta V/V$  hasil perhitungan pada Persamaan 4.30 dibagi kembali ke masing-masing prosesor. Kemudian untuk mendapatkan nilai  $\theta^{baru}$  dan  $V^{baru}$  menggunakan Persamaan 2.36 dan 2.37 sehingga dapat dinyatakan pada masing-masing prosesor sebagai berikut

- Prosesor 1

$$\begin{bmatrix} \theta_2^{baru} \\ \theta_3^{baru} \\ \vdots \\ \theta_{15}^{baru} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_2^{lama} \\ \theta_3^{lama} \\ \vdots \\ \theta_{15}^{lama} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \vdots \\ \Delta\theta_{15} \end{bmatrix} \quad (4.33)$$



$$\begin{bmatrix} V_2 \text{ baru} \\ V_3 \text{ baru} \\ \vdots \\ V_{15} \text{ baru} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_2 \text{ lama} \\ V_3 \text{ lama} \\ \vdots \\ V_{15} \text{ lama} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta V_2/V_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Delta V_3/V_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \Delta V_{15}/V_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \text{ lama} \\ V_3 \text{ lama} \\ \vdots \\ V_{15} \text{ lama} \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

- Prosesor 2

$$\begin{bmatrix} \theta_{16} \text{ baru} \\ \theta_{17} \text{ baru} \\ \vdots \\ \theta_{30} \text{ baru} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_{16} \text{ lama} \\ \theta_{17} \text{ lama} \\ \vdots \\ \theta_{30} \text{ lama} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \theta_{16} \\ \Delta \theta_{17} \\ \vdots \\ \Delta \theta_{30} \end{bmatrix} \quad (4.34)$$

$$\begin{bmatrix} V_{16} \text{ baru} \\ V_{17} \text{ baru} \\ \vdots \\ V_{30} \text{ baru} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{16} \text{ lama} \\ V_{17} \text{ lama} \\ \vdots \\ V_{30} \text{ lama} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta V_{16}/V_{16} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Delta V_{17}/V_{17} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \Delta V_{30}/V_{30} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{16} \text{ lama} \\ V_{17} \text{ lama} \\ \vdots \\ V_{30} \text{ lama} \end{bmatrix} \quad (4.35)$$

6. Parameter nilai *error* yang digunakan adalah nilai terbesar dari selisih daya ( $\Delta S$ ) yang dihitung menggunakan Persamaan 4.9 – 4.14. Nilai terbesar yang digunakan merupakan nilai *error* terbesar dari setiap prosesor.

#### 4.4 Aplikasi Perhitungan Sistem Aliran Daya

Aplikasi perhitungan sistem aliran daya ini menggunakan Matlab sebagai program utamanya. Pembuatan aplikasi ini meliputi pembuatan program analisis aliran daya dengan metode Newton Raphson komputasi sekuensial dan komputasi paralel serta pembuatan tampilan (*interface*) dari aplikasi perhitungan aliran daya.

##### 4.3.1 Program Analisis Aliran Daya Metode Newton Raphson

Perhitungan aliran daya dalam aplikasi ini baik dengan komputasi sekuensial maupun komputasi paralel menggunakan metode Newton Raphson. Program yang digunakan dari kedua komputasi ini sama, perbedaannya hanya terdapat pada data yang digunakan. Perhitungan aliran daya komputasi sekuensial menggunakan matriks data komputasi sekuensial, sedangkan perhitungan aliran daya komputasi paralel menggunakan matriks data komputasi paralel.

#### 4.3.1.1 Analisis Aliran Daya Komputasi Sekuensial

Sesuai dengan diagram alir perhitungan aliran daya komputasi sekuensial pada Gambar 3.2, perhitungan aliran daya dimulai dari perhitungan selisih daya pada setiap bus. Perhitungan selisih daya aktif ( $\Delta P$ ) menggunakan Persamaan 2.26 dan perhitungan selisih daya reaktif ( $\Delta Q$ ) menggunakan Persamaan 2.27. Sebelum menghitung daya, bus diklasifikasikan sesuai dengan jenis bus. Bus yang termasuk pada jenis bus PQ (bus beban) digunakan untuk perhitungan selisih daya aktif dan selisih daya reaktif. Bus yang termasuk pada jenis bus PV (bus generator) digunakan untuk perhitungan selisih daya aktif saja. Sedangkan bus yang termasuk *swing* bus tidak digunakan untuk perhitungan selisih daya. *Listing program* untuk perhitungan selisih daya adalah sebagai berikut:

```
%% Menghitung nilai error
Vbus=V.*exp(d*1i);
delta=Vbus.*conj(Ybus*Vbus);
dP=real(Sbus(nn,:))-real(delta(nn,:));
dQ=imag(Sbus(pq,:))-imag(delta(pq,:));
daya=[dP;dQ];
x=norm(daya,inf);
```

Perhitungan *delta* pada baris kedua merupakan perhitungan daya dari matriks tegangan *Vbus* dan matriks admitansi *Ybus*. Variabel *dP* dan *dQ* merupakan selisih daya aktif dan selisih daya reaktif. Untuk mendapatkan nilai *dP*, daya aktif yang diketahui dikurangkan dengan daya aktif dari *delta*. Daya aktif yang digunakan hanya daya aktif pada bus PQ dan bus PV. Sedangkan nilai *dQ* didapat dari hasil pengurangan daya reaktif yang diketahui dengan daya reaktif dari *delta*. Daya reaktif yang digunakan hanya daya reaktif pada bus PQ.

Nilai *error* merupakan nilai selisih daya aktif *dP* dan selisih daya reaktif *dQ* dari setiap bus. Variabel *x* adalah nilai *error* terbesar yang dihasilkan dari seluruh bus. Nilai *x* tersebut yang digunakan sebagai syarat apakah iterasi dapat dilakukan atau tidak. Apabila nilai *x* lebih besar dari nilai *error* yang diberikan, maka iterasi dapat dilakukan. Namun, apabila nilai *x* kurang dari nilai *error*, iterasi tidak dapat dilakukan.

Perhitungan dilanjutkan dengan membentuk matriks Jakobi dengan menggunakan Persamaan 2.28-2.35. Matriks Jakobi terdiri atas beberapa komponen matriks, diantaranya matriks H, matriks N, matriks J, dan matriks L.

Jenis bus juga berpengaruh pada pembentukan matriks Jakobi ini. *Listing program* pembentukan matriks Jakobi adalah sebagai berikut:

```
%% Membuat matriks Jakobian %%
diagI=diag(Ybus*Vbus);
dS_dd=1i*diag(Vbus)*conj(diagI-(Ybus*diag(Vbus)));
dS_dE=diag(Vbus)*conj(Ybus*diag(Vbus))+conj(diagI)*diag(Vbus);
HH=real(dS_dd);
NN=real(dS_dE);
JJ=imag(dS_dd);
LL=imag(dS_dE);
Jkb=[HH(nn,nn) NN(nn,pq); JJ(pq,nn) LL(pq,pq)];
```

Perhitungan matriks H menggunakan Persamaan 2.28 dan 2.32 dengan  $p$  dan  $q$  adalah bus PQ dan PV. Perhitungan matriks N menggunakan Persamaan 2.29 dan 2.33 dengan  $p$  adalah bus PQ dan PV, dan  $q$  adalah bus PQ. Perhitungan matriks J menggunakan Persamaan 2.30 dan 2.34 dengan  $p$  adalah bus PQ dan  $q$  adalah bus PQ dan PV. Perhitungan matriks L menggunakan Persamaan 2.31 dan 2.35 dengan  $p$  dan  $q$  adalah bus PQ. Matriks Jakobi merupakan gabungan dari matriks H, N, J, dan L seperti pada Persamaan 2.14.

Setelah semua komponen dari Persamaan 2.14 sudah diketahui, maka Persamaan 2.14 dapat diselesaikan sehingga mendapatkan nilai  $\Delta\theta$  dan  $\Delta V/V$ . Penyelesaian persamaan aliran daya ini dengan cara *invers* matriks Jakobi dikalikan dengan selisih daya yang sudah dihitung. *Listing program* program penyelesaian persamaan aliran daya adalah sebagai berikut:

```
%% Menyelesaikan persamaan Aliran Daya
dE=inv(Jkb)*daya;
d(nn,1)=d(nn,1)+dE(1:1,1);
V(pq,1)=V(pq,1)+diag(dE((1+1):length(dE),1))*V(pq,1);
sdt=d/pi*180;
```

Variabel  $dE$  merupakan gabungan dari matriks  $\Delta\theta$  dan  $\Delta V/V$  yang dihasilkan. Untuk memperbarui nilai besar tegangan dan sudut fasa tegangan menggunakan Persamaan 2.36 dan 2.37. Variabel  $d$  adalah sudut fasa tegangan dalam satuan radian. Sedangkan variabel  $sdt$  merupakan konversi sudut fasa tegangan  $d$  kedalam satuan derajat.

#### 4.3.1.2 Analisis Aliran Daya Komputasi Paralel

Untuk melakukan perhitungan aliran daya komputasi paralel, prosesor yang digunakan harus diaktifkan terlebih dahulu dengan fungsi *matlabpool open* 2. Fungsi ini menyediakan jumlah prosesor yang dapat digunakan untuk proses paralel, dalam hal ini adalah 2 prosesor. Program perhitungan aliran daya Newton Raphson dapat digunakan pada komputasi paralel dengan cara menjalankan program dalam fungsi *spmf*. Fungsi *spmf* digunakan untuk menjalankan perhitungan dalam proses paralel. Dengan menggunakan matriks data komputasi paralel, program akan melakukan iterasi secara bersama-sama pada 2 prosesor. Langkah iterasi yang dilakukan sama dengan langkah iterasi pada komputasi sekuensial.

Langkah pembentukan matriks Jakobi dengan menggunakan *listing program* di bawah ini

```
%% Membuat matriks Jakobian
diagI=zeros(l,b);
diagI(n,no)=diag(Ypar*Vbus);
dS_dd=li*diag(Vbusp)*conj(diagI-(Ypar*diag(Vbus)));
dS_dE=diag(Vbusp)*conj(Ypar*diag(Vbus./abs(Vbus)))+ ...
    conj(diagI)*diag(Vbus./abs(Vbus));
HH=gcat(real(dS_dd),1);
NN=gcat(real(dS_dE),1);
JJ=gcat(imag(dS_dd),1);
LL=gcat(imag(dS_dE),1);
Jkb=[HH(nn,nn) NN(nn,pq);JJ(pq,nn) LL(pq,pq)];
```

Variabel *Ypar* dan *Vbusp* merupakan matriks admitansi dan matriks tegangan yang sudah didistribusikan ke setiap prosesor. Langkah perhitungan matriks Jakobi pada perhitungan aliran daya komputasi paralel sama dengan perhitungan aliran daya komputasi sekuensial. Fungsi *gcat* digunakan untuk menggabungkan matriks pada prosesor 1 dan prosesor 2.

Pada perhitungan aliran daya komputasi paralel, penyelesaian Persamaan 2.14 menggunakan metode Dekomposisi LU. Sehingga *listing program* penyelesaian persamaan aliran daya dengan komputasi paralel adalah sebagai berikut:

```
%% Menyelesaikan persamaan Aliran Daya
[Lo,Up,p]=lu((Jkb),'vector');
dE=Up\((Lo\((S(p,:))));
```

Proses Dekomposisi LU ini sesuai dengan Persamaan 2.41. Pada baris pertama adalah proses pembagian matriks segitiga atas dan segitiga bawah. Sesuai

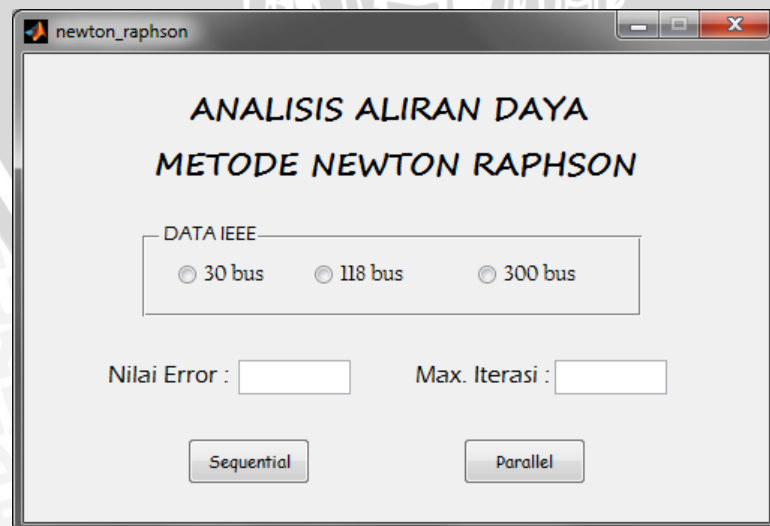
dengan Persamaan 2.44-2.47, penyelesaian Persamaan 2.42 dan 2.43 dilakukan dengan cara *forward elimination* (eliminasi maju) dan *backward substitution* (substitusi mundur). Untuk memudahkan perhitungan, penyelesaian Persamaan 2.42 dan 2.43 ini dilakukan dengan *invers* matriks.

Pada komputasi paralel, masing-masing prosesor menghasilkan nilai *error* terbesar ( $x$ ). Akan tetapi, dalam sistem perhitungan ini nilai *error* terbesar yang digunakan hanya satu nilai *error*. Nilai *error* tersebut merupakan nilai terbesar dari nilai *error* terbesar dari masing-masing prosesor.

#### 4.3.2 Tampilan Aplikasi Analisis Aliran Daya

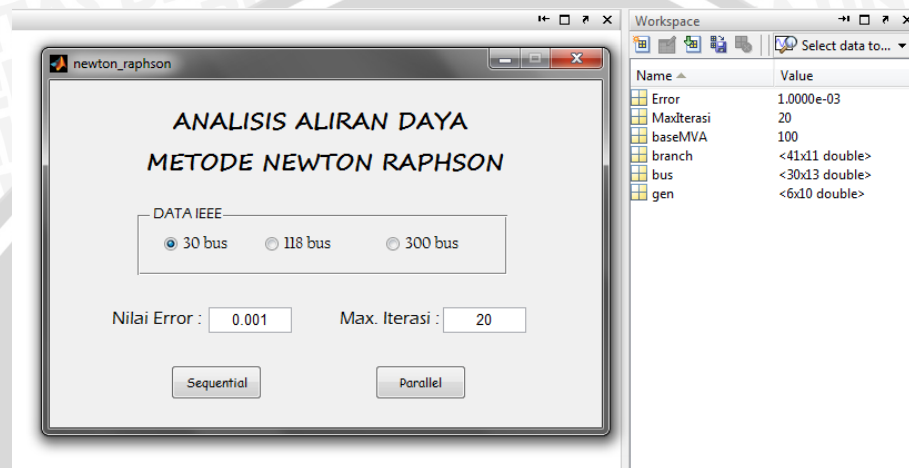
Pembuatan tampilan (*interface*) aplikasi analisis aliran daya ini menggunakan *toolbox* GUIDE yang terdapat pada Matlab. GUIDE adalah alat yang digunakan untuk membuat suatu *Graphical User Interface* (GUI). Pembuatan tampilan ini bertujuan untuk memudahkan simulasi perhitungan aliran daya. Aplikasi ini memiliki 4 tampilan, yaitu menu awal, perhitungan aliran daya komputasi sekuensial, perhitungan aliran daya komputasi paralel, dan hasil akhir perhitungan aliran daya komputasi paralel.

Untuk memanggil aplikasi analisis sistem aliran daya dilakukan dengan cara memasukkan fungsi *newton\_raphson* pada *command window* Matlab. Saat memanggil fungsi *newton\_raphson*, Matlab akan membuka fungsi *matlabpool* yang digunakan untuk perhitungan paralel. Tampilan menu awal aplikasi analisis aliran daya metode Newton Raphson terdapat pada Gambar 4.2.



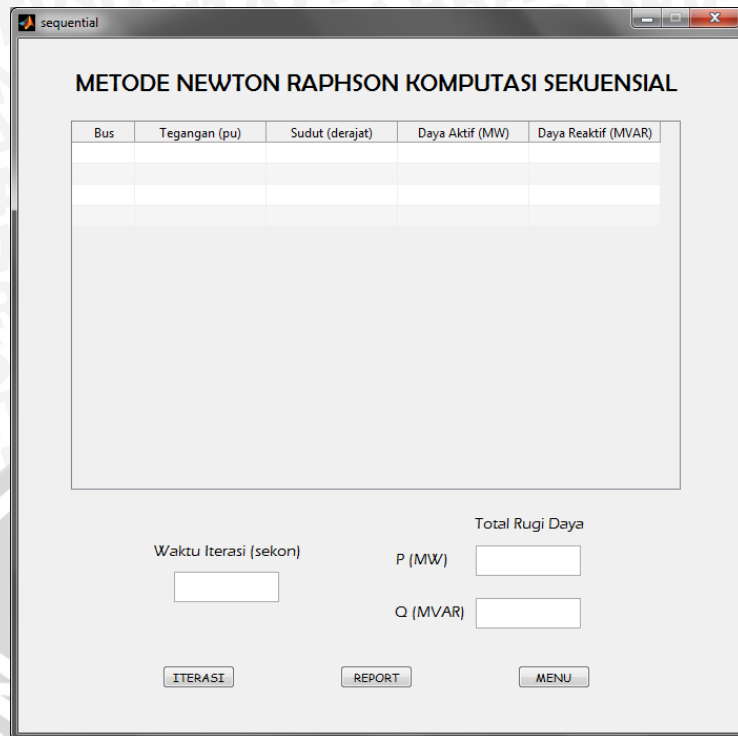
Gambar 4.2 Menu analisis aliran daya dengan metode Newton Raphson  
Sumber: Program simulasi

Menu awal aplikasi perhitungan aliran daya ini membutuhkan 3 data yang harus dimasukkan, yaitu data IEEE, nilai error, dan maksimum iterasi. Data sistem transmisi standar IEEE yang digunakan ada tiga data, yaitu sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Dari tiga data ini dipilih salah satu sebagai data masukan perhitungan aliran daya. Untuk nilai error dan maksimum diisi sesuai yang diinginkan.

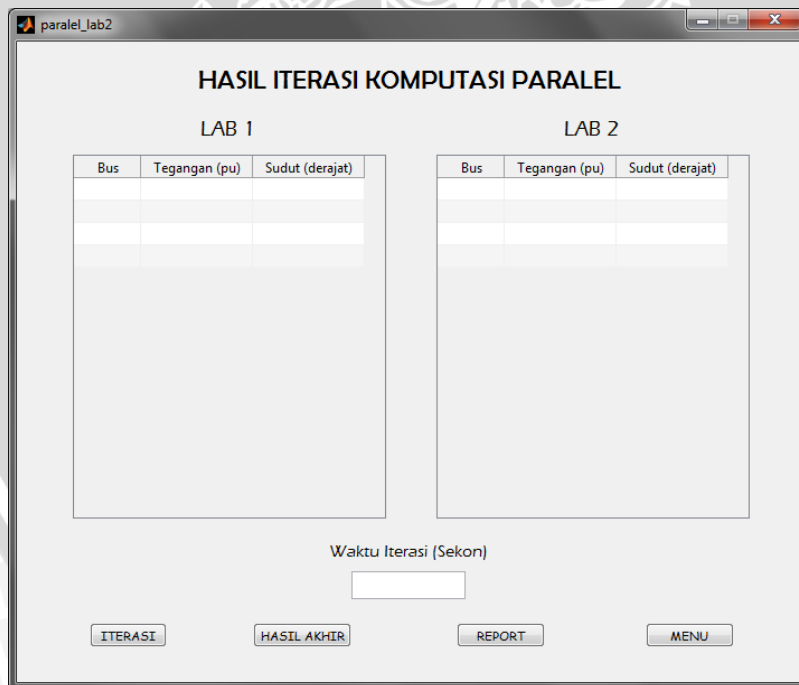


Gambar 4.3 Memasukkan data pada sistem perhitungan  
Sumber: Program simulasi

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat, data yang dipilih akan tersimpan dalam *workspace* di Matlab. Data yang tersimpan berbentuk matriks, yaitu matriks *MaxIterasi*, *Error*, *baseMVA*, *bus*, *branch*, dan *gen*. Setelah data dimasukkan, perhitungan aliran daya dapat dilakukan dengan memilih salah satu tombol *Sequential* atau *Parallel*. Tombol *Sequential* digunakan untuk perhitungan aliran daya dengan menggunakan komputasi sekuensial, sedangkan tombol *Parallel* digunakan untuk perhitungan aliran daya menggunakan komputasi paralel. Tampilan untuk sistem perhitungan secara sekuensial dan paralel terdapat pada Gambar 4.4 dan 4.5. Sebelum tampilan sistem perhitungan muncul, data diproses menjadi data matriks sebelum digunakan pada perhitungan aliran daya. Pada komputasi paralel, matriks data yang sudah terbentuk didistribusikan pada masing-masing prosesor.



Gambar 4.4 Sistem perhitungan aliran daya komputasi sekuensial  
 Sumber: Program simulasi

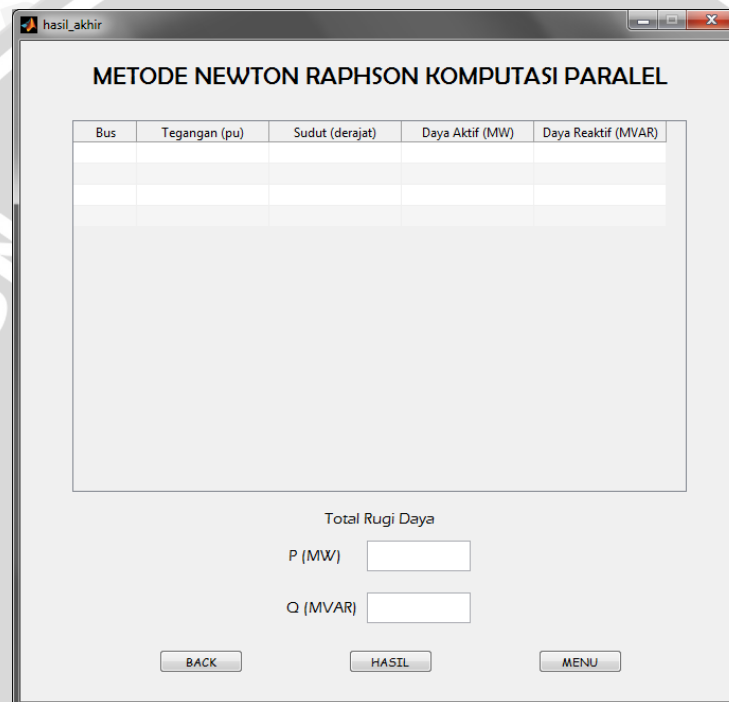


Gambar 4.5 Sistem perhitungan aliran daya komputasi paralel  
 Sumber: Program simulasi

Perhitungan dimulai dengan menekan tombol ITERASI baik pada perhitungan sekuensial maupun perhitungan paralel. Hasil perhitungan berupa besar tegangan dan sudut fasa tegangan ditampilkan pada kolom tegangan dan



sudut di tabel masing-masing sistem perhitungan. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan iterasi ditampilkan pada kolom Waktu Iterasi. Pada sistem perhitungan sekuensial ditampilkan juga daya aktif dan daya reaktif setiap bus. Untuk menampilkan daya aktif dan daya reaktif pada sistem perhitungan paralel, dapat dilakukan dengan menekan tombol HASIL AKHIR sehingga tampak seperti pada Gambar 4.6. Laporan hasil analisis aliran daya dapat dilihat lebih terperinci dengan menekan tombol REPORT. Laporan tersebut ditampilkan dalam bentuk *text file* pada *notepad*.



Gambar 4.6 Hasil akhir perhitungan aliran daya paralel  
Sumber: Program simulasi

#### 4.5 Simulasi Aliran Daya

Dalam penelitian ini, perhitungan aliran daya disimulasikan dengan menggunakan laptop. Adapun spesifikasi laptop yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Model : Toshiba Portege T210
- 2) Prosesor : Intel(R) Pentium(R) CPU U4500 @ 1.20GHz (2CPUs), ~ 1.2 GHz
- 3) Memori : 2048MB RAM
- 4) Sistem operasi : Windows 7 Home Premium 32-bit



Simulasi aliran daya dilakukan dengan dua cara, yaitu simulasi aliran daya komputasi sekuensial dan komputasi paralel.

#### 4.4.1 Simulasi Aliran Daya Komputasi Sekuensial

Hasil perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dengan menggunakan data sistem transmisi IEEE 30 bus terdapat pada Gambar 4.7.

**METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI SEKUENSIAL**

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 1             | 0               | 25.9738         | -0.9987             |
| 2   | 1             | -0.4155         | 39.2696         | 19.2977             |
| 3   | 0.9831        | -1.5221         | -2.4001         | -1.2003             |
| 4   | 0.9801        | -1.7947         | -7.6002         | -1.6007             |
| 5   | 0.9824        | -1.8638         | -4.2149e-04     | -9.8619e-04         |
| 6   | 0.9732        | -2.2670         | -8.6128e-04     | -0.0030             |
| 7   | 0.9674        | -2.6518         | -22.7993        | -10.8980            |
| 8   | 0.9606        | -2.7258         | -29.9985        | -29.9938            |
| 9   | 0.9805        | -2.9969         | -6.6897e-06     | -1.5767e-04         |
| 10  | 0.9844        | -3.3749         | -5.8002         | -2.0011             |
| 11  | 0.9805        | -2.9969         | 0               | 0                   |
| 12  | 0.9855        | -1.5369         | -11.2002        | -7.5004             |
| 13  | 1             | 1.4762          | 37.0000         | 11.3526             |
| 14  | 0.9767        | -2.3080         | -6.1999         | -1.5998             |
| 15  | 0.9802        | -2.3118         | -8.2001         | -2.5002             |
| 16  | 0.9774        | -2.6445         | -3.4999         | -1.7997             |
| 17  | 0.9760        | -2.2022         | 8.0000          | 6.7000              |

Total Rugi Daya

Waktu Iterasi (sekon)  P (MW)  Q (MVAR)

Gambar 4.7 Hasil perhitungan komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 30 bus  
Sumber: Hasil simulasi

Nilai *error* yang digunakan untuk hasil pada Gambar 4.7 adalah 0,001 dan maksimum iterasinya adalah 20 iterasi. Simulasi perhitungan aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 30 bus di atas menghasilkan 3 iterasi. Hasil besar tegangan, sudut fasa tegangan, dan daya masing-masing bus pada Gambar 4.7 dapat ditampilkan pada Tabel 4.7. Pada Gambar 4.7, waktu iterasi

yang dihasilkan adalah 0,0128 detik dan total rugi daya yang dihasilkan adalah 2,4437-6,7856i MVA.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 30 bus

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) | P (MW)   | Q (MVAR) |
|-----|--------|--------------------|----------|----------|
| 1   | 1,0000 | 0,0000             | 25,9661  | -0,9987  |
| 2   | 1,0000 | -0,4153            | 39,2680  | 19,2905  |
| 3   | 0,9831 | -1,5221            | -2,4013  | -1,1986  |
| 4   | 0,9801 | -1,7947            | -7,6014  | -1,5983  |
| 5   | 0,9824 | -1,8638            | -0,0013  | 0,0013   |
| 6   | 0,9732 | -2,2670            | -0,0036  | 0,0035   |
| 7   | 0,9674 | -2,6518            | -22,7964 | -10,8997 |
| 8   | 0,9606 | -2,7258            | -29,9934 | -29,9977 |
| 9   | 0,9805 | -2,9969            | 0,0007   | 0,0005   |
| 10  | 0,9844 | -3,3749            | -5,7990  | -1,9992  |
| 11  | 0,9805 | -2,9969            | 0,0000   | 0,0000   |
| 12  | 0,9855 | -1,5369            | -11,2011 | -7,4966  |
| 13  | 1,0000 | -1,4762            | 36,9992  | 11,3502  |
| 14  | 0,9767 | -2,3080            | -6,1994  | -1,5999  |
| 15  | 0,9802 | -2,3118            | -8,1994  | -2,4994  |
| 16  | 0,9774 | -2,6445            | -3,4996  | -1,7996  |
| 17  | 0,9769 | -3,3923            | -8,9992  | -5,7999  |
| 18  | 0,9684 | -3,4784            | -3,1998  | -0,8996  |
| 19  | 0,9653 | -3,9582            | -9,4983  | -3,4002  |
| 20  | 0,9692 | -3,8710            | -2,2000  | -0,6998  |
| 21  | 0,9934 | -3,4884            | -17,4996 | -11,2000 |
| 22  | 1,0000 | -3,3927            | 21,5903  | 39,5653  |
| 23  | 1,0000 | -1,5892            | 16,0004  | 6,3489   |
| 24  | 0,9886 | -2,6315            | -8,6999  | -6,6999  |
| 25  | 0,9902 | -1,6900            | -0,0001  | 0,0001   |
| 26  | 0,9722 | -2,1393            | -3,4999  | -2,2999  |
| 27  | 1,0000 | -0,8284            | 26,9101  | 10,5382  |
| 28  | 0,9747 | -2,2659            | 0,0001   | 0,0003   |
| 29  | 0,9796 | -2,1285            | -2,4002  | -0,8997  |
| 30  | 0,9679 | -3,0415            | -10,5990 | -1,8997  |

Sumber: Hasil simulasi

Simulasi perhitungan aliran daya ini dilakukan dengan nilai  $error$   $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-6}$ , dan  $1 \times 10^{-8}$ . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Hasil simulasi secara umum berupa jumlah iterasi dan waktu iterasi terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil simulasi perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dengan variasi nilai *error*

| Jumlah Bus | Nilai <i>Error</i> | Jumlah iterasi | Waktu Iterasi (sekon) |
|------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| 30 bus     | $1 \times 10^{-3}$ | 3              | 0,0128                |
|            | $1 \times 10^{-6}$ | 5              | 0,0258                |
|            | $1 \times 10^{-8}$ | 6              | 0,0281                |
| 118 bus    | $1 \times 10^{-3}$ | 2              | 0,1878                |
|            | $1 \times 10^{-6}$ | 4              | 0,3668                |
|            | $1 \times 10^{-8}$ | 6              | 0,5243                |
| 300 bus    | $1 \times 10^{-3}$ | 4              | 5,0549                |
|            | $1 \times 10^{-6}$ | 6              | 7,0296                |
|            | $1 \times 10^{-8}$ | 8              | 9,8259                |

Sumber: Hasil Simulasi

#### 4.4.2 Simulasi Aliran Daya Komputasi Paralel

Hasil perhitungan aliran daya komputasi paralel dengan menggunakan data sistem transmisi IEEE 30 bus terdapat pada Gambar 4.8 dan 4.9.

**HASIL ITERASI KOMPUTASI PARALEL**

**LAB 1**

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) |
|-----|---------------|-----------------|
| 1   | 1             | 0               |
| 2   | 1             | -0.4155         |
| 3   | 0.9831        | -1.5221         |
| 4   | 0.9801        | -1.7947         |
| 5   | 0.9824        | -1.8638         |
| 6   | 0.9732        | -2.2670         |
| 7   | 0.9674        | -2.6518         |
| 8   | 0.9606        | -2.7258         |
| 9   | 0.9805        | -2.9969         |
| 10  | 0.9844        | -3.3749         |
| 11  | 0.9805        | -2.9969         |
| 12  | 0.9855        | -1.5369         |
| 13  | 1             | 1.4762          |
| 14  | 0.9767        | -2.3080         |
| 15  | 0.9802        | -2.3118         |

**LAB 2**

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) |
|-----|---------------|-----------------|
| 16  | 0.9774        | -2.6445         |
| 17  | 0.9769        | -3.3923         |
| 18  | 0.9684        | -3.4784         |
| 19  | 0.9653        | -3.9582         |
| 20  | 0.9692        | -3.8710         |
| 21  | 0.9934        | -3.4884         |
| 22  | 1             | -3.3927         |
| 23  | 1             | -1.5892         |
| 24  | 0.9886        | -2.6315         |
| 25  | 0.9902        | -1.6900         |
| 26  | 0.9722        | -2.1393         |
| 27  | 1             | -0.8284         |
| 28  | 0.9747        | -2.2659         |
| 29  | 0.9796        | -2.1285         |
| 30  | 0.9679        | -3.0415         |

Waktu Iterasi (Sekon)

0.0422

ITERASI HASIL AKHIR REPORT MENU

Gambar 4.8 Hasil perhitungan komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus  
Sumber: Hasil simulasi

hasil\_akhir

### METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI PARALEL

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 1             | 0               | 25.9738         | -0.9987             |
| 2   | 1             | -0.4155         | 39.2696         | 19.2977             |
| 3   | 0.9831        | -1.5221         | -2.4001         | -1.2003             |
| 4   | 0.9801        | -1.7947         | -7.6002         | -1.6007             |
| 5   | 0.9824        | -1.8638         | -4.2149e-04     | -9.8619e-04         |
| 6   | 0.9732        | -2.2670         | -8.6128e-04     | -0.0030             |
| 7   | 0.9674        | -2.6518         | -22.7993        | -10.8980            |
| 8   | 0.9606        | -2.7258         | -29.9985        | -29.9938            |
| 9   | 0.9805        | -2.9969         | -6.6897e-06     | -1.5767e-04         |
| 10  | 0.9844        | -3.3749         | -5.8002         | -2.0011             |
| 11  | 0.9805        | -2.9969         | 0               | 0                   |
| 12  | 0.9855        | -1.5369         | -11.2002        | -7.5004             |
| 13  | 1             | 1.4762          | 37.0000         | 11.3526             |
| 14  | 0.9767        | -2.3080         | -6.1999         | -1.5998             |
| 15  | 0.9802        | -2.3118         | -8.2001         | -2.5002             |
| 16  | 0.9774        | -2.6445         | -3.4999         | -1.7997             |
| 17  | 0.9760        | -2.3022         | 8.0000          | 5.7000              |

Total Rugi Daya

P (MW)

Q (MVAR)

BACK HASIL MENU

Gambar 4.9 Hasil akhir perhitungan komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus  
Sumber: Hasil Simulasi

Nilai *error* yang digunakan untuk hasil pada Gambar 4.8 adalah 0,001 dan maksimum iterasinya adalah 20 iterasi. Simulasi perhitungan aliran daya komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus di atas menghasilkan 3 iterasi pada nilai *error* 0,001. Jumlah iterasi pada masing-masing lab (prosesor) menghasilkan jumlah yang sama karena perhitungan iterasi dilakukan secara bersama-sama. Pada Gambar 4.8, dapat dilihat waktu iterasi yang dihasilkan adalah 0,0128 detik. Hasil besar tegangan dan sudut fasa tegangan masing-masing bus pada Gambar 4.8 dapat ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan aliran daya komputasi paralel sistem transmisi IEEE  
30 bus

| Lab 1 |        |                    | Lab 2 |        |                    |
|-------|--------|--------------------|-------|--------|--------------------|
| Bus   | V (pu) | $\theta$ (derajat) | Bus   | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
| 1     | 1,0000 | 0,0000             | 16    | 0,9774 | -2,6445            |
| 2     | 1,0000 | -0,4153            | 17    | 0,9769 | -3,3923            |
| 3     | 0,9831 | -1,5221            | 18    | 0,9684 | -3,4784            |
| 4     | 0,9801 | -1,7947            | 19    | 0,9653 | -3,9582            |
| 5     | 0,9824 | -1,8638            | 20    | 0,9692 | -3,8710            |
| 6     | 0,9732 | -2,2670            | 21    | 0,9934 | -3,4884            |
| 7     | 0,9674 | -2,6518            | 22    | 1,0000 | -3,3927            |
| 8     | 0,9606 | -2,7258            | 23    | 1,0000 | -1,5892            |
| 9     | 0,9805 | -2,9969            | 24    | 0,9886 | -2,6315            |
| 10    | 0,9844 | -3,3749            | 25    | 0,9902 | -1,6900            |
| 11    | 0,9805 | -2,9969            | 26    | 0,9722 | -2,1393            |
| 12    | 0,9855 | -1,5369            | 27    | 1,0000 | -0,8284            |
| 13    | 1,0000 | 1,4762             | 28    | 0,9747 | -2,2659            |
| 14    | 0,9767 | -2,3080            | 29    | 0,9796 | -2,1285            |
| 15    | 0,9802 | -2,3118            | 30    | 0,9679 | -3,0415            |

Sumber: Hasil simulasi

Perhitungan aliran daya secara paralel ini masih dalam bentuk matriks terdistribusi dalam 2 lab. Hasil perhitungan paralel ini digabungkan menjadi matriks non-distribusi, sehingga matriks dapat ditampilkan seperti pada Gambar 4.9. Sebagai contoh, pada sistem transmisi 30 bus, hasil perhitungan tegangannya dalam bentuk matriks 15x1 pada masing-masing prosesor. Kemudian hasil tersebut digabungkan menjadi matriks 30x1. Penggabungan hasil perhitungan ini dilakukan agar hasil perhitungan iterasi dapat digunakan untuk perhitungan rugi daya setiap bus. Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa total rugi daya yang dihasilkan adalah 2,4431-6,7875i MVA.

Simulasi perhitungan aliran daya menggunakan komputasi paralel dilakukan dengan nilai  $error$   $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-6}$ , dan  $1 \times 10^{-8}$ . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Hasil simulasi secara umum berupa jumlah iterasi dan waktu iterasi terdapat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil simulasi perhitungan aliran daya komputasi paralel dengan variasi nilai *error*

| Jumlah Bus | Nilai <i>Error</i> | Jumlah iterasi | Waktu Iterasi (sekon) |
|------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| 30 bus     | $1 \times 10^{-3}$ | 3              | 0,0422                |
|            | $1 \times 10^{-6}$ | 5              | 0,0692                |
|            | $1 \times 10^{-8}$ | 6              | 0,0821                |
| 118 bus    | $1 \times 10^{-3}$ | 2              | 0,1106                |
|            | $1 \times 10^{-6}$ | 4              | 0,2209                |
|            | $1 \times 10^{-8}$ | 6              | 0,3229                |
| 300 bus    | $1 \times 10^{-3}$ | 4              | 2,0082                |
|            | $1 \times 10^{-6}$ | 6              | 2,8727                |
|            | $1 \times 10^{-8}$ | 8              | 3,7113                |

Sumber: Hasil simulasi

#### 4.6 Perhitungan Rugi daya

Rugi daya sistem transmisi dihitung menggunakan Persamaan 2.20. Tegangan yang digunakan adalah tegangan hasil iterasi perhitungan aliran daya. Rugi daya masing-masing saluran untuk sistem transmisi standar IEEE 30 bus dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rugi daya pada setiap saluran transmisi IEEE 30 bus

| Bus Kirim | Bus Terima | Rugi daya |          |
|-----------|------------|-----------|----------|
|           |            | P (MW)    | Q (MVAR) |
| 1         | 2          | 0,0263    | -2,9212  |
| 1         | 3          | 0,1267    | -1,4853  |
| 2         | 4          | 0,1780    | -1,4564  |
| 3         | 4          | 0,0183    | 0,0731   |
| 2         | 5          | 0,1103    | -1,5242  |
| 2         | 6          | 0,2892    | -1,0798  |
| 4         | 6          | 0,0662    | 0,2646   |
| 5         | 7          | 0,1202    | -0,6621  |
| 6         | 7          | 0,0314    | -0,8577  |
| 6         | 8          | 0,1280    | 0,5121   |
| 6         | 9          | 0,0000    | 0,0992   |
| 6         | 10         | 0,0000    | 0,0864   |

| Bus Kirim | Bus Terima | Rugi daya |          |
|-----------|------------|-----------|----------|
|           |            | P (MW)    | Q (MVAR) |
| 9         | 11         | 0,0000    | 0,0000   |
| 9         | 10         | 0,0000    | 0,0520   |
| 4         | 12         | 0,0000    | 0,0186   |
| 12        | 13         | 0,0000    | 2,0969   |
| 12        | 14         | 0,0368    | 0,0798   |
| 12        | 15         | 0,0656    | 0,1217   |
| 12        | 16         | 0,0795    | 0,1767   |
| 14        | 15         | 0,0031    | 0,0029   |
| 16        | 17         | 0,0307    | 0,0728   |
| 15        | 18         | 0,0968    | 0,1936   |
| 18        | 19         | 0,0221    | 0,0479   |
| 19        | 20         | 0,0089    | 0,0208   |
| 10        | 20         | 0,0524    | 0,1221   |
| 10        | 17         | 0,0234    | 0,0624   |
| 10        | 21         | 0,0437    | 0,1019   |
| 10        | 22         | 0,0622    | 0,1332   |
| 21        | 22         | 0,0931    | 0,1862   |
| 15        | 23         | 0,1094    | 0,2187   |
| 22        | 24         | 0,0783    | 0,1174   |
| 23        | 24         | 0,0663    | 0,1377   |
| 24        | 25         | 0,0350    | 0,0608   |
| 25        | 26         | 0,0464    | 0,0705   |
| 25        | 27         | 0,0626    | 0,1194   |
| 28        | 27         | 0,0000    | 0,3132   |
| 27        | 29         | 0,0901    | 0,1720   |
| 27        | 30         | 0,1713    | 0,3211   |
| 29        | 30         | 0,0349    | 0,0654   |
| 8         | 28         | 0,0356    | -1,7542  |
| 6         | 28         | 0,0012    | -0,9451  |

Sumber: Hasil perhitungan

Total rugi daya dari sistem ini dapat dihitung dengan menjumlahkan rugi daya masing-masing saluran seperti pada Persamaan 2.21. Total rugi daya untuk masing-masing data sistem transmisi dapat dilihat pada Tabel 4.12. Pada Tabel 4.12 menunjukkan bahwa daya dibutuhkan oleh beban terpenuhi dengan

menghasilkan total rugi daya masing-masing sistem. Total rugi daya yang paling besar dihasilkan oleh sistem transmisi IEEE 300 bus.

Tabel 4.12 Total rugi daya sistem transmisi IEEE

| Data Sistem | Total Rugi Daya  |                    |
|-------------|------------------|--------------------|
|             | $P_{total}$ (MW) | $Q_{total}$ (MVAR) |
| 30 bus      | 2,4437           | -6,7856            |
| 118 bus     | 132,8628         | -642,3165          |
| 300 bus     | 409,5255         | 195,7353           |

Sumber: Hasil simulasi

#### 4.7 Analisis Hasil Simulasi Aliran Daya

Dalam skripsi ini, analisis dari hasil simulasi aliran daya dengan komputasi sekuensial dan paralel meliputi analisis hasil waktu iterasi, perbandingan hasil komputasi sekuensial dan paralel, dan analisis tegangan hasil perhitungan aliran daya pada masing-masing sistem transmisi IEEE.

##### 4.6.1 Waktu Iterasi

Perhitungan aliran daya dengan nilai *error* yang berbeda-beda menyebabkan hasil iterasinya berbeda-beda juga. Nilai *error* yang mendekati nilai nol akan menghasilkan jumlah iterasi lebih banyak, sehingga hasil iterasi semakin teliti. Dari Tabel 4.13 dapat dibuktikan bahwa semakin banyak jumlah iterasi waktu yang dibutuhkan untuk iterasi berakhir semakin lama

Tabel 4.13 Perbandingan waktu iterasi komputasi sekuensial dan paralel

| Data Sistem | Nilai Error        | Jumlah Iterasi | Waktu Iterasi (sekon) |                   | Selisih Waktu |
|-------------|--------------------|----------------|-----------------------|-------------------|---------------|
|             |                    |                | Komputasi Sekuensial  | Komputasi Paralel |               |
| 30 bus      | $1 \times 10^{-3}$ | 3              | 0,0128                | 0,0422            | -0,0294       |
|             | $1 \times 10^{-6}$ | 5              | 0,0258                | 0,0692            | -0,0434       |
|             | $1 \times 10^{-8}$ | 6              | 0,0281                | 0,0821            | -0,0540       |
| 118 bus     | $1 \times 10^{-3}$ | 2              | 0,1878                | 0,1106            | 0,0772        |
|             | $1 \times 10^{-6}$ | 4              | 0,3668                | 0,2209            | 0,1459        |
|             | $1 \times 10^{-8}$ | 6              | 0,5243                | 0,3229            | 0,2014        |
| 300 bus     | $1 \times 10^{-3}$ | 4              | 5,0549                | 2,0082            | 3,0467        |
|             | $1 \times 10^{-6}$ | 6              | 7,0296                | 2,8727            | 4,1569        |
|             | $1 \times 10^{-8}$ | 8              | 9,8259                | 3,7113            | 6,1146        |

Sumber: Hasil Perhitungan



Menurut hasil penelitian pada Tabel 4.13, waktu iterasi yang dihasilkan oleh komputasi paralel tidak semuanya lebih cepat dibandingkan dengan komputasi sekuensial. Sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus menghasilkan waktu iterasi dengan komputasi paralel yang lebih cepat, sedangkan sistem transmisi IEEE 30 bus menghasilkan waktu yang lebih lambat. Hal ini dikarenakan prosesor mampu mengolah data matriks dengan orde  $30 \times 1$  dan  $30 \times 30$  dengan cepat.

Pada data sistem transmisi IEEE 118 bus, waktu iterasi antara komputasi paralel dan sekuensial memiliki selisih yang sedikit. Dapat dilihat pada Tabel 4.13, pada nilai *error*  $1 \times 10^{-3}$  jumlah iterasi yang dihasilkan adalah 2 iterasi dengan waktu iterasi menggunakan komputasi sekuensial 0,1878 sekon. Sedangkan pada nilai *error* yang sama, dengan menggunakan komputasi paralel waktu yang dihasilkan adalah 0,1106 sekon. Selisih antara waktu iterasi dengan komputasi sekuensial dan komputasi paralel adalah 0,0772 sekon. Untuk nilai *error*  $1 \times 10^{-6}$  dan  $1 \times 10^{-8}$  menghasilkan jumlah iterasi 4 dan 6. Pada kedua nilai *error* tersebut, selisih waktu komputasi sekuensial dan komputasi paralel adalah 0,1459 dan 0,2014 sekon.

Pada data sistem transmisi IEEE 300 bus, waktu komputasi sekuensial dan paralel memiliki selisih waktu yang besar. Pada Tabel 4.13, dengan nilai *error*  $1 \times 10^{-3}$  waktu yang dibutuhkan pada komputasi sekuensial adalah 5,0549 sekon, sedangkan pada komputasi paralel adalah 2,0082 sekon. Selisih waktu dari kedua komputasi tersebut adalah 3,0467 sekon. Jumlah iterasi yang dihasilkan dari kedua komputasi tersebut adalah 4 iterasi. Pada nilai *error*  $1 \times 10^{-6}$  dan  $1 \times 10^{-8}$ , selisih waktu yang dihasilkan adalah 4,1569 sekon dan 6,1146 sekon. Jumlah iterasi yang dihasilkan oleh komputasi sekuensial dan paralel pada nilai *error*  $1 \times 10^{-6}$  dan  $1 \times 10^{-8}$  adalah 6 dan 8 iterasi.

Pada sistem transmisi IEEE 300 bus, perbedaan waktu komputasi paralel yang dihasilkan kurang lebih setengah dari waktu komputasi sekuensial. Sehingga analisis aliran daya dengan komputasi paralel sangat cocok apabila diterapkan pada sistem transmisi yang memiliki jumlah bus yang banyak.

Berdasarkan perhitungan selisih waktu yang dihasilkan oleh masing-masing data sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus, dapat dibuktikan bahwa

komputasi paralel mampu melakukan iterasi lebih cepat dari pada komputasi sekuensial. Perhitungan menggunakan komputasi paralel menghasilkan jumlah iterasi yang sama dengan komputasi sekuensial, tetapi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan iterasi lebih cepat. Selain itu, dengan semakin banyaknya jumlah iterasi, perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel dapat menghitung lebih cepat dibandingkan komputasi sekuensial. Hal ini dapat dibuktikan dengan semakin banyak jumlah iterasi, semakin banyak selisih waktu iterasi antara komputasi sekuensial dan paralel.

#### **4.6.2 Perbandingan Hasil Komputasi Paralel dan Komputasi Sekuensial**

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.9, dapat dilihat hasil perhitungan sistem transmisi IEEE 30 bus menggunakan komputasi paralel menghasilkan besaran tegangan dan sudut fasa tegangan yang sama dengan hasil komputasi sekuensial pada Tabel 4.7. Jumlah iterasi yang dihasilkan dari setiap data sistem transmisi juga memiliki jumlah yang sama. Perhitungan dengan data sistem transmisi yang lain juga menghasilkan besaran tegangan dan sudut fasa tegangan yang sama dengan hasil komputasi sekuensial. Sehingga hasil perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel dapat digunakan untuk perhitungan lain yang menggunakan tegangan hasil perhitungan iterasi.

Hasil yang sama dari kedua komputasi dikarenakan pada perhitungannya komputasi paralel hanya mendistribusikan data matriks pada setiap prosesor. Sedangkan masing-masing prosesor menggunakan program yang sama untuk mengolah data tersebut. Tujuan pendistribusian data matriks ini adalah agar setiap prosesor mendapatkan matriks dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan matriks awal sehingga prosesor mampu mengolah data lebih cepat.

#### **4.6.3 Analisis Hasil Perhitungan**

Dari hasil perhitungan untuk sistem transmisi IEEE 30 bus, besar tegangan yang dihasilkan melalui perhitungan aliran daya merupakan tegangan sebenarnya dari setiap bus. Pada Tabel 4.14, besaran tegangan yang dihasilkan berada diantara tegangan maksimum dan minimum dari sistem transmisi tersebut. Hal ini membuktikan bahwa sistem transmisi IEEE 30 bus memiliki sistem yang bagus. Besar tegangan yang terbesar dari sistem transmisi IEEE 30 bus ini terdapat pada

bus generator (bus PV), dimana besar tegangannya adalah 1 pu. Sedangkan besar tegangan yang terkecil terdapat pada bus 6 dengan besar tegangan 0,9606 pu.

Rugi daya dari sistem transmisi ini terdapat pada Tabel 4.11. Total rugi daya dari sistem transmisi IEEE 30 bus ini adalah 2,4437 - 6,7875i MVA. Rugi daya aktif terbesar dari sistem ini terdapat pada saluran antara bus 2 dan 6 dengan besar rugi daya 0,2892 MW. Sedangkan rugi daya reaktif yang terbesar terdapat pada saluran antara bus 12 dan 13, yaitu 2,0969 MVAR.

Tabel 4.14 Perbandingan hasil tegangan dan tegangan maksimum dan minimum

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) | Vmax   | Vmin   |
|-----|--------|--------------------|--------|--------|
| 1   | 1,0000 | 0,0000             | 1,0500 | 0,9500 |
| 2   | 1,0000 | -0,4155            | 1,1000 | 0,9500 |
| 3   | 0,9831 | -1,5221            | 1,0500 | 0,9500 |
| 4   | 0,9801 | -1,7947            | 1,0500 | 0,9500 |
| 5   | 0,9824 | -1,8638            | 1,0500 | 0,9500 |
| 6   | 0,9732 | -2,2670            | 1,0500 | 0,9500 |
| 7   | 0,9674 | -2,6518            | 1,0500 | 0,9500 |
| 8   | 0,9606 | -2,7258            | 1,0500 | 0,9500 |
| 9   | 0,9805 | -2,9969            | 1,0500 | 0,9500 |
| 10  | 0,9844 | -3,3749            | 1,0500 | 0,9500 |
| 11  | 0,9805 | -2,9969            | 1,0500 | 0,9500 |
| 12  | 0,9855 | -1,5369            | 1,0500 | 0,9500 |
| 13  | 1,0000 | 1,4762             | 1,1000 | 0,9500 |
| 14  | 0,9767 | -2,3080            | 1,0500 | 0,9500 |
| 15  | 0,9802 | -2,3118            | 1,0500 | 0,9500 |
| 16  | 0,9774 | -2,6445            | 1,0500 | 0,9500 |
| 17  | 0,9769 | -3,3923            | 1,0500 | 0,9500 |
| 18  | 0,9684 | -3,4784            | 1,0500 | 0,9500 |
| 19  | 0,9653 | -3,9582            | 1,0500 | 0,9500 |
| 20  | 0,9692 | -3,8710            | 1,0500 | 0,9500 |
| 21  | 0,9934 | -3,4884            | 1,0500 | 0,9500 |
| 22  | 1,0000 | -3,3927            | 1,1000 | 0,9500 |
| 23  | 1,0000 | -1,5892            | 1,1000 | 0,9500 |
| 24  | 0,9886 | -2,6315            | 1,0500 | 0,9500 |
| 25  | 0,9902 | -1,6900            | 1,0500 | 0,9500 |
| 26  | 0,9722 | -2,1393            | 1,0500 | 0,9500 |
| 27  | 1,0000 | -0,8284            | 1,1000 | 0,9500 |
| 28  | 0,9747 | -2,2659            | 1,0500 | 0,9500 |
| 29  | 0,9796 | -2,1285            | 1,0500 | 0,9500 |
| 30  | 0,9679 | -3,0415            | 1,0500 | 0,9500 |

Sumber: Hasil simulasi

Pada sistem transmisi 118 bus, hasil besar tegangan yang dihasilkan tidak ada yang melebihi dari tegangan maksimum dan kurang dari tegangan minimum. Besar tegangan yang terbesar dari sistem ini terdapat pada bus 10, 25, dan 66, yaitu 1,0500 pu. Besar tegangan terkecil dari sistem ini terdapat pada bus 76, yaitu 0,9430 pu. Tegangan maksimum dan minimum yang dibutuhkan yaitu 1,0600 pu dan 0,9400 pu. Sehingga sistem transmisi IEEE 118 bus memiliki sistem transmisi yang bagus.

Total rugi daya dari sistem transmisi IEEE 118 bus ini adalah 132,8628 - 642,3161i MVA. Rugi daya aktif terbesar dari sistem ini terdapat pada saluran antara bus 25 dan 27 dengan besar rugi daya 6,3980 MW. Sedangkan rugi daya reaktif yang terbesar terdapat pada saluran antara bus 8 dan 5, yaitu 32,7192 MVAR.

Pada sistem transmisi IEEE 300 bus, beberapa besar tegangan dari bus sistem ini yang melebihi dari tegangan maksimum dan kurang dari tegangan minimum. Besar tegangan yang melebihi tegangan maksimum terdapat pada bus 17, 128, 153, 165, dan 166. Tegangan pada bus tersebut adalah 1,0649 pu, 1,0735 pu, 1,0622 pu, 1,0650 pu, dan 1,0650 pu. Tegangan maksimum pada sistem transmisi IEEE 300 bus ini adalah 1,0600 pu. Sedangkan besar tegangan yang kurang dari tegangan minimum terdapat pada bus 96, 97, 149, 157, 171, 280, 282, dan 287. Tegangan pada bus tersebut adalah 0,9348 pu, 0,9298 pu, 0,9290 pu, 0,9397 pu, 0,9374 pu, 0,9318 pu, 0,9286 pu, dan 0,9391 pu. Tegangan minimum pada sistem transmisi IEEE 300 bus ini adalah 0,9400 pu. Dengan adanya besar tegangan yang melebihi atau kurang dari tegangan yang dibutuhkan maka sistem transmisi ini tidak bagus.

Total rugi daya dari sistem transmisi IEEE 300 bus ini adalah 409,5265 - 195,7385i MVA. Rugi daya aktif terbesar dari sistem ini terdapat pada saluran antara bus 191 dan 192 dengan besar rugi daya 22,3803 MW. Sedangkan rugi daya reaktif yang terbesar terdapat pada saluran antara bus 191 dan 192, yaitu 358,0856 MVAR.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan yang dibahas serta mengacu pada hasil simulasi dan analisis aliran daya, maka pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yang meliputi :

1. Besar tegangan dan sudut fasa tegangan yang dihasilkan komputasi paralel sama dengan besar tegangan dan sudut fasa tegangan yang dihitung menggunakan komputasi sekuensial. Sehingga komputasi paralel dapat digunakan untuk menganalisa sistem aliran daya.
2. Waktu iterasi dari komputasi paralel lebih cepat dari komputasi sekuensial pada perhitungan aliran daya dengan sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus. Sebagai contoh pada data sistem transmisi IEEE 300 bus, waktu komputasi sekuensial adalah 9,8259 sekon, sedangkan komputasi paralel adalah 3,7113 sekon.
3. Komputasi paralel mempercepat perhitungan analisis aliran daya pada sistem transmisi yang luas. Hal ini dibuktikan dengan semakin banyak jumlah bus dari sistem transmisi, semakin besar pula selisih waktu antara komputasi sekuensial dan paralel.
4. Perhitungan aliran daya yang menghasilkan jumlah iterasi yang banyak mampu dihitung dengan cepat menggunakan komputasi paralel. Hal ini dibuktikan dengan semakin banyak jumlah iterasi yang dihasilkan, semakin besar selisih waktu antara komputasi sekuensial dan paralel.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari skripsi ini adalah:

1. Komputasi paralel ini dapat disimulasikan pada analisis aliran daya dengan jumlah bus sistem transmisi lebih dari 300 bus
2. Analisis aliran daya dengan komputasi paralel bisa dikembangkan dengan menggunakan metode perhitungan aliran daya yang lain.
3. Program komputasi paralel ini bisa dikembangkan dengan menggunakan jumlah prosesor lebih dari 2 prosesor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Michael & Wilkinson, Barry. 2010. *Parallel programming : teknik dan aplikasi menggunakan jaringan workstation & komputer paralel*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey
- Anonymous. 2012. <http://www.ee.washington.edu/research/pstca>. University of Washington. (diakses tanggal 25 Juli 2012).
- Burkardt, John. 2009. *MATLAB Parallel Computing*. Virginia: Information Technology Department Virginia Tech.
- Butt, Rizwan. 2009. *Introduction to Numerical Analysis Using MATLAB*. USA: Jones & Bartlett Learning.
- Grainger, John J. & Stevenson, William D. 1994. *Power System Analysis*. Singapore : Mcgraw-Hill.
- Krishnamurthy, A., Samsi, S., & Gadepally, V. 2009. *Parallel MATLAB Techniques*. USA: Ohio Supercomputer Center and Ohio State University.
- Kundur, P. 1994. *Power System Stability and Control*. New York : McGraw-Hill.
- Nugroho Ir., AD, MT. 2008. *Optimasi Load Tap Changing Transformer Menggunakan Algoritma Genetika Guna Meminimalisasi Rugi Daya Transmisi*. Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- Ogi, Dion. 2010. *Studi Kinerja Algoritma Paralel dengan MPICH2 dan Cilk++ pada Prosesor Multicore*. Jakarta: Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Prasetyo, N.A. 2010. *Implementasi dan Unjuk Kerja Portal Openfoam dalam Lingkungan Komputasi Cluster*. Jakarta: Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia.
- S Samsi, Siddarth. 2008. *SC08 Engineering Track: Parallel computing using MATLAB*. USA: Ohio Supercomputer Center.
- iregar, Y., Soeprijanto, A., & Purnomo, M. H. 2009. *Pemodelan Paralel Load Flow Untuk Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November.
- Stevenson, William D. 1984. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat*. Erlangga Jakarta.
- Widianto, E. D. 2012. *Pengolahan Paralel*. Semarang: Teknik Sistem Komputer Universitas Diponegoro.
- Zimmerman, Ray D. & Murillo-Sanchez, Carlos E. 2011. *MATPOWER 4.1: User's Manual*. Power Systems Engineering Research Center (Pserc).

## LAMPIRAN

## Lampiran 1 Listing program Newton Raphon komputasi sekuensial

```

%% ===== METODEDE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI SEKUENSIAL ===== %%
%% Data tambahan
bus_n=bus(:,2);
nn=find(bus_n~=3);
n=sort([ref;pq;pv]);
l=length(nn);
disp_V(n,i)=0;
disp_d(n,i)=0;

%% Menghitung nilai error
Vbus=V.*exp(d*1i);
delta=Vbus.*conj(Ybus*Vbus);
dP=real(Sbus(nn,:))-real(delta(nn,:));
dQ=imag(Sbus(pq,:))-imag(delta(pq,:));
daya=[dP;dQ];
x=norm(daya,inf);

%% Iterasi %%
if x>=epsilon
    ts=tic; % Waktu mulai
    x=1; % Nilai error awal
    iter=0; % Nilai iterasi awal
    while (x>=epsilon)&&(iter<i);
        iter=iter+1; % Iterasi ke-
        %% Membuat matriks Jakobian %%
        diagI=diag(Ybus*Vbus);
        dS_dd=1i*diag(Vbus)*conj(diagI-(Ybus*diag(Vbus)));
        dS_dE=diag(Vbus)*conj(Ybus*diag(Vbus./abs(Vbus))) ...
            +conj(diagI)*diag(Vbus./abs(Vbus));
        HH=real(dS_dd);
        NN=real(dS_dE);
        JJ=imag(dS_dd);
        LL=imag(dS_dE);
        Jkb=[HH(nn,nn) NN(nn,pq);JJ(pq,nn) LL(pq,pq)];
        %% Menghitung daya %%
        delta=Vbus.*conj(Ybus*Vbus);
        dP=real(Sbus(nn,:))-real(delta(nn,:));
        dQ=imag(Sbus(pq,:))-imag(delta(pq,:));
        daya=[dP;dQ];
        %% Menyelesaikan Persamaan Aliran Daya
        dE=inv(Jkb)*daya;
        d(nn,1)=d(nn,1)+dE(1:1,1);
        V(pq,1)=V(pq,1)+diag(dE((1+1):length(dE),1))*V(pq,1);
        sdt=d/pi*180; % Konversi dari radian ke derajat
        disp_V(n,iter)=V; % Menyimpan hasil iterasi V
        disp_d(n,iter)=sdt; % Menyimpan hasil iterasi d
        %% Menghitung nilai error
        Vbus=V.*exp(d*1i);
        delta=Vbus.*conj(Ybus*Vbus);
        dP=real(Sbus(nn,:))-real(delta(nn,:));
        dQ=imag(Sbus(pq,:))-imag(delta(pq,:));
        daya=[dP;dQ];

```

```
x=norm(daya,inf);           % Update nilai error
MaxX(iter,1)=x;           % Menyimpan hasil error
end
t=toc(ts);                 % Waktu berhenti
else
sdt=d/pi*180;
t=0;
iter=0;
MaxX=0;
end
end
```





## Lampiran 2 Listing program Newton Raphson komputasi paralel

```

%% ===== METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI PARALEL ===== %%

%% --- Pengolahan Data --- %%
bus_n=bus(:,2);
no_bus=bus(:,1);
nn=find(bus_n~=3);
b=length(V);
w=matlabpool('size');

sppmd
    %% distributsi matrix ke masing-masing lab
    Ypar=codistributed(Ybus,codistributorId(1)); % Ybus paralel
    Spar=codistributed(Sbus); % Sbus paralel
    Vpar=codistributed(V); % V paralel
    dpar=codistributed(d); % d paralel
    no=codistributed(no_bus); % Pembagian node baru
    busn=codistributed(bus_n); % Pembagian tipe bus
    nodep=codistributed(node); % Pembagian node lama
    Ypar=getLocalPart(Ypar);
    Spar=getLocalPart(Spar);
    Vpar=getLocalPart(Vpar);
    dpar=getLocalPart(dpar);
    no=getLocalPart(no);
    busn=getLocalPart(busn);
    nodep=getLocalPart(nodep);

    %% Data tambahan iterasi pada masing-masing lab
    PQ=find(busn==1);
    PV=find(busn==2);
    REF=find(busn==3);
    npq=length(PQ);
    n=sort([REF;PQ;PV]);
    m=sort([PQ;PV]);
    l=length(n);
    mm=no(no~=ref);
    lm=length(mm);
    ll=gop(@vertcat,lm);
    c=sum(ll(1:labindex,1));
    mpq=gop(@vertcat,npq);
    a=sum(mpq(1:labindex,1));
    Vbusp=Vpar.*exp(dpar*li);
    Vbus=gop(@vertcat,Vbusp);
    disp_V(n,i)=0;
    disp_d(n,i)=0;
    I=ones(b,b);
    ydiag=diag(diag(gcat(Ypar,1)));
    ybus=Ypar-ydiag(no,:);
    delta=Vbusp.*conj(Ypar*Vbus)-Spar;
    daya=[real(delta([PV;PQ]));imag(delta(PQ))];
    daya=gop(@vertcat,daya);
    x=norm(daya,inf);

end

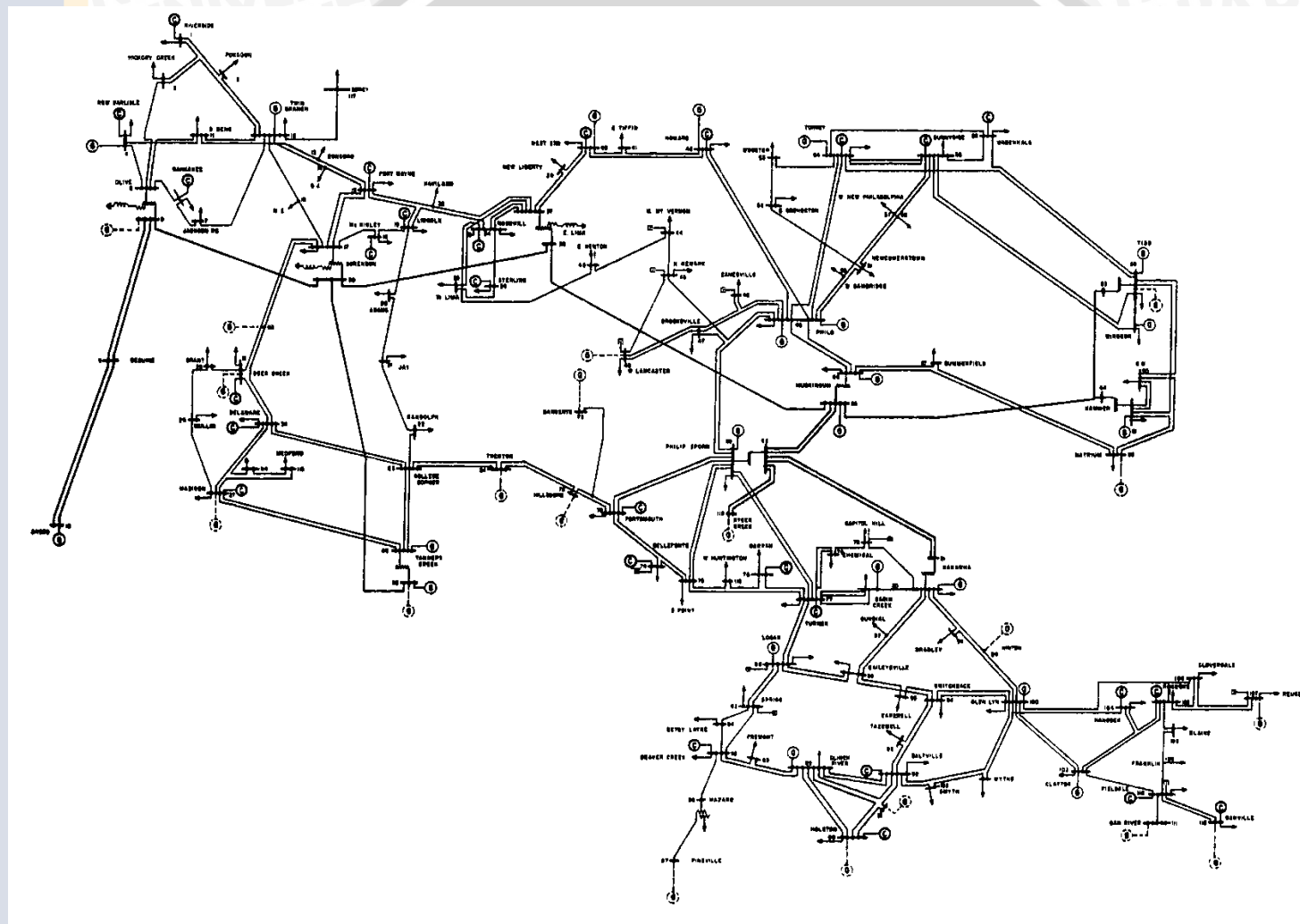
```

```

%% --- iterasi --- %%
w=matlabpool('size'); % jumlah prosesor
if x{1}>=epsilon
    spmd(w)
        labBarrier;
        x=1; % Nilai error awal
        iter=0; % Nilai iterasi awal
        ts=tic; % Waktu mulai
        while (x>=epsilon)&&(iter<i);
            iter=iter+1; % Iterasi ke-
            %% Menghitung daya dari hasil tegangan
            Shit=Vbus.*conj(Ybus*Vbus);
            Phit=real(Shit);
            Qhit=imag(Shit);
            dP=real(Sbus(nn,:))-Phit(nn,:);
            dQ=imag(Sbus(pq,:))-Qhit(pq,:);
            S=[dP;dQ];
            %% Membuat matriks Jakobian
            diagI=zeros(1,b);
            diagI(n,no)=diag(Ypar*Vbus);
            dS_dd=1i*diag(Vbusp)*conj(diagI-(Ypar*diag(Vbus)));
            dS_dE=diag(Vbusp)*conj(Ypar*diag(Vbus./abs(Vbus))) ...
                + conj(diagI)*diag(Vbus./abs(Vbus));
            HH=gcats(real(dS_dd),1);
            NN=gcats(real(dS_dE),1);
            JJ=gcats(imag(dS_dd),1);
            LL=gcats(imag(dS_dE),1);
            Jkb=[HH(nn,nn) NN(nn,pq);JJ(pq,nn) LL(pq,pq)];
            %% Menyelesaikan Persamaan Aliran Daya
            [Lo,Up,p]=lu((Jkb),'vector');
            dE=Up\ (Lo\ (S(p,:)));
            dpar(m,1)=dpar(m,1)+dE((1+c-lm):c,1);
            Vpar(PQ,1)=Vpar(PQ,1)+diag(dE((b+a-npq): ...
                (b+a-1),1))*Vpar(PQ,1);
            sdt=dpar/pi*180; % Konversi dari radian ke derajat
            disp_V(n,iter)=Vpar; % Menyimpan hasil iterasi V
            disp_d(n,iter)=sdt; % Menyimpan hasil iterasi d
            %% Menghitung nilai error
            Vbusp=Vpar.*exp(dpar*1i);
            Vbus=gcats(Vbusp,1);
            delta=Vbusp.*conj(Ypar*Vbus)-Spar;
            daya=[real(delta([PV;PQ]));imag(delta(PQ))];
            daya=gops(@vertcat,daya);
            x=norm(daya,inf); % Update nilai error
            MaxX(iter,1)=x;
        end
        t=gops(@max,toc(ts));
    end
    t=t{1}; % Waktu berhenti
else
    spmd(w)
        sdt=d/pi*180;
        iter=0;
        MaxX=0;
    end
    t=0;
end

```

Lampiran 3 *Single line diagram sistem transmisi IEEE 118 bus*



Lampiran 4 Single line diagram sistem transmisi IEEE 300 bus

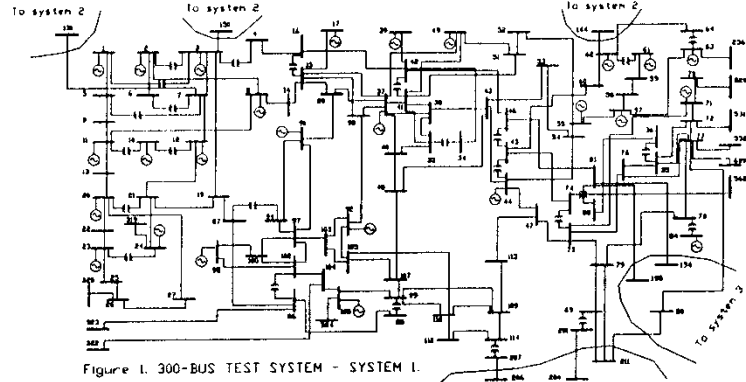


Figure 1. 300-BUS TEST SYSTEM - SYSTEM 1.

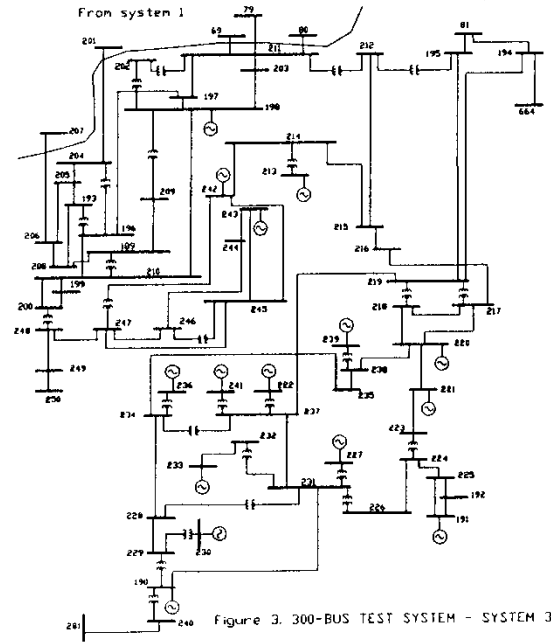


Figure 3. 300-BUS TEST SYSTEM - SYSTEM 3.

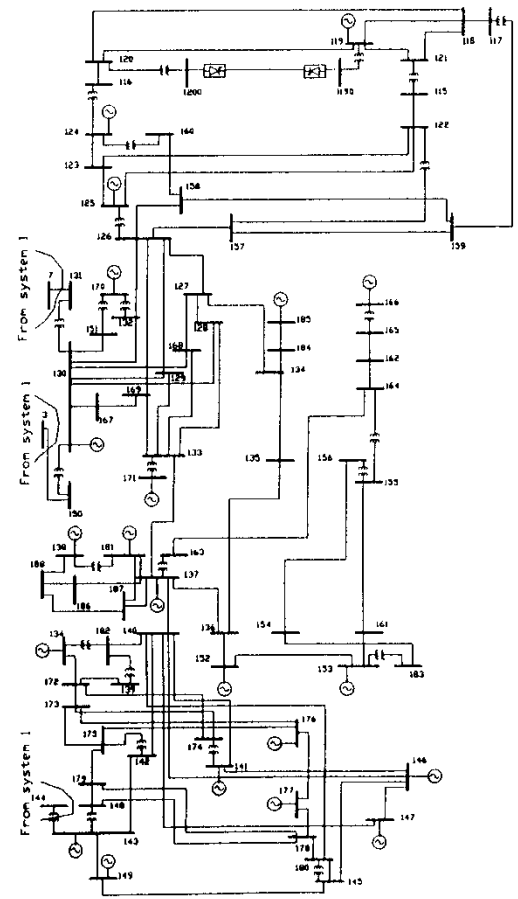


Figure 2. 300-BUS TEST SYSTEM - SYSTEM 2.

Lampiran 5 Simulasi analisis aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 118 bus

sequential

### METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI SEKUENSIAL

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 0.9550        | 10.9727         | -51.0001        | -30.1045            |
| 2   | 0.9714        | 11.5126         | -20.0002        | -9.0007             |
| 3   | 0.9677        | 11.8562         | -38.9997        | -9.9989             |
| 4   | 0.9980        | 15.5741         | -39.0000        | -27.0096            |
| 5   | 1.0020        | 16.0192         | -3.6052e-05     | -2.6040e-04         |
| 6   | 0.9900        | 13.2919         | -52.0000        | -6.0701             |
| 7   | 0.9893        | 12.8473         | -19.0001        | -2.0003             |
| 8   | 1.0150        | 21.0406         | -27.9998        | 63.1431             |
| 9   | 1.0429        | 28.2947         | 7.9614e-05      | 9.7567e-04          |
| 10  | 1.0500        | 35.8756         | 450.0000        | -51.0426            |
| 11  | 0.9851        | 13.0058         | -69.9999        | -22.9998            |
| 12  | 0.9900        | 12.4889         | 37.9999         | 81.2914             |
| 13  | 0.9683        | 11.6298         | -34.0001        | -16.0004            |
| 14  | 0.9836        | 11.7715         | -13.9999        | -0.9998             |
| 15  | 0.9700        | 11.4742         | -90.0006        | -22.8414            |
| 16  | 0.9839        | 12.1873         | -24.9999        | -9.9994             |
| 17  | 0.9951        | 12.0052         | 10.0001         | 2.0002              |

Total Rugi Daya

Waktu Iterasi (sekon) P (MW)

Q (MVAR)

Lampiran 6 Simulasi analisis aliran daya koomputasi paralel sistem transmisi  
IEEE 118 bus

paralel\_lab2

### HASIL ITERASI KOMPUTASI PARALEL

LAB 1

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) |
|-----|---------------|-----------------|
| 1   | 0.9550        | 10.9727         |
| 2   | 0.9714        | 11.5126         |
| 3   | 0.9677        | 11.8562         |
| 4   | 0.9980        | 15.5741         |
| 5   | 1.0020        | 16.0192         |
| 6   | 0.9900        | 13.2919         |
| 7   | 0.9893        | 12.8473         |
| 8   | 1.0150        | 21.0406         |
| 9   | 1.0429        | 28.2947         |
| 10  | 1.0500        | 35.8756         |
| 11  | 0.9851        | 13.0058         |
| 12  | 0.9900        | 12.4889         |
| 13  | 0.9683        | 11.6298         |
| 14  | 0.9836        | 11.7715         |
| 15  | 0.9700        | 11.4742         |

LAB 2

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) |
|-----|---------------|-----------------|
| 60  | 0.9932        | 23.2301         |
| 61  | 0.9950        | 24.1215         |
| 62  | 0.9980        | 23.5048         |
| 63  | 0.9687        | 22.8274         |
| 64  | 0.9837        | 24.5934         |
| 65  | 1.0050        | 27.7191         |
| 66  | 1.0500        | 27.5587         |
| 67  | 1.0197        | 24.9190         |
| 68  | 1.0032        | 27.5978         |
| 69  | 1.0350        | 30.0000         |
| 70  | 0.9840        | 22.6179         |
| 71  | 0.9868        | 22.2069         |
| 72  | 0.9800        | 21.1086         |
| 73  | 0.9910        | 21.9954         |
| 74  | 0.9580        | 21.6686         |

Waktu Iterasi (Sekon)

0.1106

ITERASI
HASIL AKHIR
REPORT
MENU



hasil\_akhir

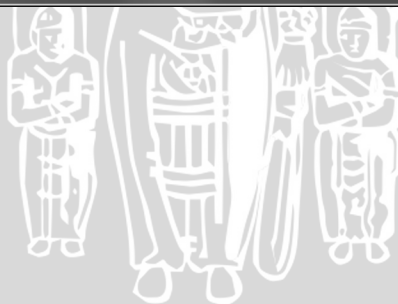
### METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI PARALEL

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 0.9550        | 10.9727         | -51.0001        | -30.1045            |
| 2   | 0.9714        | 11.5126         | -20.0002        | -9.0007             |
| 3   | 0.9677        | 11.8562         | -38.9997        | -9.9989             |
| 4   | 0.9980        | 15.5741         | -39.0000        | -27.0096            |
| 5   | 1.0020        | 16.0192         | -3.6052e-05     | -2.6040e-04         |
| 6   | 0.9900        | 13.2919         | -52.0000        | -6.0701             |
| 7   | 0.9893        | 12.8473         | -19.0001        | -2.0003             |
| 8   | 1.0150        | 21.0406         | -27.9998        | 63.1431             |
| 9   | 1.0429        | 28.2947         | 7.9614e-05      | 9.7567e-04          |
| 10  | 1.0500        | 35.8756         | 450.0000        | -51.0426            |
| 11  | 0.9851        | 13.0058         | -69.9999        | -22.9998            |
| 12  | 0.9900        | 12.4889         | 37.9999         | 81.2914             |
| 13  | 0.9683        | 11.6298         | -34.0001        | -16.0004            |
| 14  | 0.9836        | 11.7715         | -13.9999        | -0.9998             |
| 15  | 0.9700        | 11.4742         | -90.0006        | -22.8414            |
| 16  | 0.9839        | 12.1873         | -24.9999        | -9.9994             |
| 17  | 0.9851        | 12.0052         | 10.0004         | 2.0002              |

Total Rugi Daya

P (MW)

Q (MVAR)



Lampiran 7 Simulasi analisis aliran daya komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 300 bus

sequential

### METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI SEKUENSIAL

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 1.0284        | 5.9674          | -90.0000        | -49.0000            |
| 2   | 1.0353        | 7.7550          | -56.0000        | -15.0000            |
| 3   | 0.9971        | 6.6571          | -20.0000        | -3.2165e-04         |
| 4   | 1.0308        | 4.7283          | 1.0351e-05      | 7.5192e-05          |
| 5   | 1.0191        | 4.7014          | -353.0000       | -130.0000           |
| 6   | 1.0312        | 7.0061          | -120.0000       | -41.0000            |
| 7   | 0.9934        | 6.2057          | -4.2741e-06     | 1.6054e-05          |
| 8   | 1.0153        | 2.4153          | -63.0000        | -4.1524             |
| 9   | 1.0034        | 2.8709          | -96.0000        | -43.0000            |
| 10  | 1.0205        | 1.3632          | -153.0000       | -12.9913            |
| 11  | 1.0057        | 2.4812          | -83.0000        | -21.0000            |
| 12  | 0.9974        | 5.2303          | -5.1780e-06     | -5.7965e-05         |
| 13  | 0.9977        | -0.5371         | -58.0000        | -10.0000            |
| 14  | 0.9992        | -4.7958         | -160.0000       | -60.0001            |
| 15  | 1.0344        | -8.5670         | -126.7000       | -23.0000            |
| 16  | 1.0316        | -2.6223         | 2.3753e-05      | -6.9061e-04         |
| 17  | 1.0640        | 12.0847         | 564.0000        | 210.0000            |

Total Rugi Daya

Waktu Iterasi (sekon) P (MW)

Q (MVAR)





Lampiran 8 Simulasi analisis aliran daya komputasi paralel sistem transmisi  
IEEE 300 bus

paralel\_lab2

### HASIL ITERASI KOMPUTASI PARALEL

LAB 1

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) |
|-----|---------------|-----------------|
| 1   | 1.0284        | 5.9674          |
| 2   | 1.0353        | 7.7550          |
| 3   | 0.9971        | 6.6571          |
| 4   | 1.0308        | 4.7283          |
| 5   | 1.0191        | 4.7014          |
| 6   | 1.0312        | 7.0061          |
| 7   | 0.9934        | 6.2057          |
| 8   | 1.0153        | 2.4153          |
| 9   | 1.0034        | 2.8709          |
| 10  | 1.0205        | 1.3632          |
| 11  | 1.0057        | 2.4812          |
| 12  | 0.9974        | 5.2303          |
| 13  | 0.9977        | -0.5371         |
| 14  | 0.9992        | -4.7958         |
| 15  | 1.0344        | -8.5670         |

LAB 2

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) |
|-----|---------------|-----------------|
| 172 | 1.0245        | -6.1996         |
| 173 | 0.9837        | -12.7288        |
| 174 | 1.0622        | -2.6667         |
| 175 | 0.9731        | -7.1803         |
| 176 | 1.0522        | 4.6913          |
| 177 | 1.0077        | 0.6457          |
| 178 | 0.9398        | -6.5368         |
| 179 | 0.9699        | -9.3376         |
| 180 | 0.9793        | -3.0651         |
| 181 | 1.0518        | -1.3032         |
| 182 | 1.0446        | -4.1651         |
| 183 | 0.9716        | 7.1451          |
| 184 | 1.0386        | -6.8245         |
| 185 | 1.0522        | -4.3101         |
| 186 | 1.0650        | 2.1943          |

Waktu Iterasi (Sekon)

2.0082

ITERASI
HASIL AKHIR
REPORT
MENU



hasil\_akhir

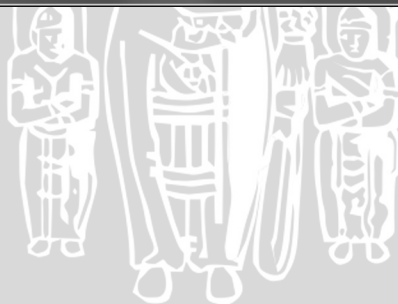
### METODE NEWTON RAPHSON KOMPUTASI PARALEL

| Bus | Tegangan (pu) | Sudut (derajat) | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 1.0284        | 5.9674          | -90.0000        | -49.0000            |
| 2   | 1.0353        | 7.7550          | -56.0000        | -15.0000            |
| 3   | 0.9971        | 6.6571          | -20.0000        | -3.2165e-04         |
| 4   | 1.0308        | 4.7283          | 1.0351e-05      | 7.5192e-05          |
| 5   | 1.0191        | 4.7014          | -353.0000       | -130.0000           |
| 6   | 1.0312        | 7.0061          | -120.0000       | -41.0000            |
| 7   | 0.9934        | 6.2057          | -4.2741e-06     | 1.6054e-05          |
| 8   | 1.0153        | 2.4153          | -63.0000        | -4.1524             |
| 9   | 1.0034        | 2.8709          | -96.0000        | -43.0000            |
| 10  | 1.0205        | 1.3632          | -153.0000       | -12.9913            |
| 11  | 1.0057        | 2.4812          | -83.0000        | -21.0000            |
| 12  | 0.9974        | 5.2303          | -5.1780e-06     | -5.7965e-05         |
| 13  | 0.9977        | -0.5371         | -58.0000        | -10.0000            |
| 14  | 0.9992        | -4.7958         | -160.0000       | -60.0001            |
| 15  | 1.0344        | -8.5670         | -126.7000       | -23.0000            |
| 16  | 1.0316        | -2.6223         | 2.3753e-05      | -6.9061e-04         |
| 17  | 1.0640        | 12.0847         | 564.0000        | 210.0000            |

Total Rugi Daya

P (MW)

Q (MVAR)



Lampiran 9 Hasil iterasi sistem transmisi IEEE 118 bus

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 1   | 0,9550 | 10,9727            |
| 2   | 0,9714 | 11,5126            |
| 3   | 0,9677 | 11,8562            |
| 4   | 0,9980 | 15,5741            |
| 5   | 1,0020 | 16,0192            |
| 6   | 0,9900 | 13,2919            |
| 7   | 0,9893 | 12,8473            |
| 8   | 1,0150 | 21,0406            |
| 9   | 1,0429 | 28,2947            |
| 10  | 1,0500 | 35,8756            |
| 11  | 0,9851 | 13,0058            |
| 12  | 0,9900 | 12,4889            |
| 13  | 0,9683 | 11,6298            |
| 14  | 0,9836 | 11,7715            |
| 15  | 0,9700 | 11,4742            |
| 16  | 0,9839 | 12,1873            |
| 17  | 0,9951 | 13,9952            |
| 18  | 0,9730 | 11,7808            |
| 19  | 0,9620 | 11,3147            |
| 20  | 0,9569 | 12,1910            |
| 21  | 0,9577 | 13,7780            |
| 22  | 0,9690 | 16,3316            |
| 23  | 0,9995 | 21,2487            |
| 24  | 0,9920 | 21,1139            |
| 25  | 1,0500 | 28,1798            |
| 26  | 1,0150 | 29,9602            |
| 27  | 0,9680 | 15,6044            |
| 28  | 0,9616 | 13,8789            |
| 29  | 0,9632 | 12,8854            |
| 30  | 0,9853 | 19,0338            |
| 31  | 0,9670 | 13,0019            |
| 32  | 0,9630 | 15,0606            |
| 33  | 0,9709 | 10,8538            |
| 34  | 0,9840 | 11,5114            |
| 35  | 0,9805 | 11,0551            |
| 36  | 0,9800 | 11,0555            |
| 37  | 0,9907 | 11,9667            |
| 38  | 0,9613 | 17,1076            |
| 39  | 0,9700 | 8,5766             |
| 40  | 0,9700 | 7,4955             |
| 41  | 0,9668 | 7,0516             |
| 42  | 0,9850 | 8,6529             |
| 43  | 0,9771 | 11,4604            |

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 44  | 0,9844 | 13,9433            |
| 45  | 0,9864 | 15,7726            |
| 46  | 1,0050 | 18,5757            |
| 47  | 1,0171 | 20,7991            |
| 48  | 1,0206 | 20,0185            |
| 49  | 1,0250 | 21,0216            |
| 50  | 1,0011 | 18,9829            |
| 51  | 0,9669 | 16,3642            |
| 52  | 0,9568 | 15,4109            |
| 53  | 0,9460 | 14,4362            |
| 54  | 0,9550 | 15,3481            |
| 55  | 0,9520 | 15,0582            |
| 56  | 0,9540 | 15,2449            |
| 57  | 0,9706 | 16,4492            |
| 58  | 0,9590 | 15,5925            |
| 59  | 0,9850 | 19,4485            |
| 60  | 0,9932 | 23,2301            |
| 61  | 0,9950 | 24,1215            |
| 62  | 0,9980 | 23,5048            |
| 63  | 0,9687 | 22,8274            |
| 64  | 0,9837 | 24,5934            |
| 65  | 1,0050 | 27,7191            |
| 66  | 1,0500 | 27,5587            |
| 67  | 1,0197 | 24,9190            |
| 68  | 1,0032 | 27,5978            |
| 69  | 1,0350 | 30,0000            |
| 70  | 0,9840 | 22,6179            |
| 71  | 0,9868 | 22,2069            |
| 72  | 0,9800 | 21,1086            |
| 73  | 0,9910 | 21,9954            |
| 74  | 0,9580 | 21,6686            |
| 75  | 0,9673 | 22,9302            |
| 76  | 0,9430 | 21,7988            |
| 77  | 1,0060 | 26,7506            |
| 78  | 1,0034 | 26,4466            |
| 79  | 1,0092 | 26,7454            |
| 80  | 1,0400 | 28,9901            |
| 81  | 0,9968 | 28,1449            |
| 82  | 0,9885 | 27,2717            |
| 83  | 0,9844 | 28,4639            |
| 84  | 0,9797 | 31,0003            |
| 85  | 0,9850 | 32,5556            |
| 86  | 0,9867 | 31,1862            |
| 87  | 1,0150 | 31,4454            |
| 88  | 0,9875 | 35,6904            |

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 89  | 1,0050 | 39,7483            |
| 90  | 0,9850 | 33,3384            |
| 91  | 0,9800 | 33,3506            |
| 92  | 0,9900 | 33,8808            |
| 93  | 0,9854 | 30,8491            |
| 94  | 0,9898 | 28,6822            |
| 95  | 0,9803 | 27,7096            |
| 96  | 0,9923 | 27,5426            |
| 97  | 1,0112 | 27,9158            |
| 98  | 1,0235 | 27,4333            |
| 99  | 1,0100 | 27,0668            |
| 100 | 1,0170 | 28,0588            |
| 101 | 0,9914 | 29,6469            |
| 102 | 0,9891 | 32,3650            |
| 103 | 1,0100 | 24,3178            |
| 104 | 0,9710 | 21,7478            |
| 105 | 0,9650 | 20,6436            |
| 106 | 0,9611 | 20,3834            |
| 107 | 0,9520 | 17,5827            |
| 108 | 0,9662 | 19,4435            |
| 109 | 0,9670 | 18,9909            |
| 110 | 0,9730 | 18,1440            |
| 111 | 0,9800 | 19,7891            |
| 112 | 0,9750 | 15,0448            |
| 113 | 0,9930 | 13,9926            |
| 114 | 0,9601 | 14,7264            |
| 115 | 0,9600 | 14,7181            |
| 116 | 1,0050 | 27,1628            |
| 117 | 0,9738 | 10,9479            |
| 118 | 0,9494 | 21,9419            |

## Lampiran 10 Hasil iterasi sistem transmisi IEEE 300 bus

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 1   | 1,0284 | 5,9674             |
| 2   | 1,0353 | 7,7550             |
| 3   | 0,9971 | 6,6571             |
| 4   | 1,0308 | 4,7283             |
| 5   | 1,0191 | 4,7014             |
| 6   | 1,0312 | 7,0061             |
| 7   | 0,9934 | 6,2056             |
| 8   | 1,0153 | 2,4153             |
| 9   | 1,0034 | 2,8709             |
| 10  | 1,0205 | 1,3632             |
| 11  | 1,0057 | 2,4812             |
| 12  | 0,9974 | 5,2303             |
| 13  | 0,9977 | -0,5371            |
| 14  | 0,9992 | -4,7958            |
| 15  | 1,0344 | -8,5670            |
| 16  | 1,0316 | -2,6223            |
| 17  | 1,0649 | -13,0847           |
| 19  | 0,9819 | 1,0887             |
| 20  | 1,0010 | -2,4469            |
| 21  | 0,9752 | 1,6340             |
| 22  | 0,9963 | -1,9599            |
| 23  | 1,0501 | 3,9515             |
| 24  | 1,0057 | 6,0330             |
| 25  | 1,0234 | 1,4528             |
| 26  | 0,9986 | -1,7210            |
| 27  | 0,9750 | -4,8826            |
| 33  | 1,0246 | -12,0019           |
| 34  | 1,0414 | -7,9009            |
| 35  | 0,9757 | -25,6817           |
| 36  | 1,0012 | -22,5188           |
| 37  | 1,0202 | -11,2145           |
| 38  | 1,0203 | -12,5386           |
| 39  | 1,0536 | -5,7730            |
| 40  | 1,0217 | -12,7609           |
| 41  | 1,0293 | -10,4254           |
| 42  | 1,0449 | -7,4065            |
| 43  | 1,0007 | -16,7634           |
| 44  | 1,0087 | -17,4310           |
| 45  | 1,0216 | -14,6903           |
| 46  | 1,0345 | -11,6970           |
| 47  | 0,9779 | -23,1630           |
| 48  | 1,0020 | -16,1207           |
| 49  | 1,0475 | -2,9445            |

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 51  | 1,0254 | -8,1346            |
| 52  | 0,9980 | -11,8395           |
| 53  | 0,9960 | -17,5788           |
| 54  | 1,0051 | -16,2223           |
| 55  | 1,0151 | -12,1875           |
| 57  | 1,0335 | -7,9659            |
| 58  | 0,9918 | -5,9589            |
| 59  | 0,9789 | -5,2524            |
| 60  | 1,0247 | -9,5148            |
| 61  | 0,9907 | -3,4332            |
| 62  | 1,0160 | -1,0616            |
| 63  | 0,9583 | -17,5886           |
| 64  | 0,9480 | -12,9355           |
| 69  | 0,9627 | -26,4717           |
| 70  | 0,9513 | -35,1238           |
| 71  | 0,9794 | -29,8446           |
| 72  | 0,9696 | -27,4412           |
| 73  | 0,9776 | -25,7373           |
| 74  | 0,9965 | -21,9430           |
| 76  | 0,9632 | -26,5030           |
| 77  | 0,9838 | -24,9110           |
| 78  | 0,9900 | -24,0346           |
| 79  | 0,9820 | -25,0113           |
| 80  | 0,9872 | -24,8172           |
| 81  | 1,0341 | -18,7567           |
| 84  | 1,0250 | -17,1478           |
| 85  | 0,9871 | -17,7651           |
| 86  | 0,9908 | -14,2479           |
| 87  | 0,9920 | -7,7927            |
| 88  | 1,0152 | -20,8668           |
| 89  | 1,0317 | -11,1429           |
| 90  | 1,0272 | -11,2349           |
| 91  | 1,0520 | -9,4370            |
| 92  | 1,0520 | -6,2439            |
| 94  | 0,9929 | -9,4493            |
| 97  | 1,0182 | -13,2871           |
| 98  | 1,0000 | -14,6649           |
| 99  | 0,9894 | -20,3753           |
| 100 | 1,0060 | -14,5033           |
| 102 | 1,0007 | -15,2926           |
| 103 | 1,0288 | -12,1181           |
| 104 | 0,9957 | -17,4016           |
| 105 | 1,0223 | -13,0017           |
| 107 | 1,0095 | -16,0818           |
| 108 | 0,9900 | -20,3635           |

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 109 | 0,9752 | -26,2916           |
| 110 | 0,9732 | -24,9316           |
| 112 | 0,9745 | -29,2739           |
| 113 | 0,9702 | -25,4471           |
| 114 | 0,9768 | -29,2092           |
| 115 | 0,9603 | -13,5485           |
| 116 | 1,0249 | -12,6669           |
| 117 | 0,9348 | -4,6992            |
| 118 | 0,9299 | -4,1016            |
| 119 | 1,0435 | 5,1873             |
| 120 | 0,9584 | -8,7492            |
| 121 | 0,9871 | -12,6148           |
| 122 | 0,9728 | -14,3431           |
| 123 | 1,0006 | -17,6134           |
| 124 | 1,0233 | -13,4645           |
| 125 | 1,0103 | -18,4065           |
| 126 | 0,9978 | -12,8427           |
| 127 | 1,0001 | -10,5018           |
| 128 | 1,0024 | -4,7559            |
| 129 | 1,0028 | -4,3771            |
| 130 | 1,0191 | 5,5778             |
| 131 | 0,9861 | 6,0737             |
| 132 | 1,0046 | 3,0638             |
| 133 | 1,0020 | -5,4390            |
| 134 | 1,0221 | -8,0222            |
| 135 | 1,0193 | -6,7339            |
| 136 | 1,0476 | 1,5630             |
| 137 | 1,0471 | -1,4315            |
| 138 | 1,0550 | -6,3308            |
| 139 | 1,0117 | -3,5447            |
| 140 | 1,0430 | -3,4121            |
| 141 | 1,0510 | 0,0736             |
| 142 | 1,0155 | -2,7419            |
| 143 | 1,0435 | 4,0618             |
| 144 | 1,0161 | -0,6609            |
| 145 | 1,0081 | -0,1299            |
| 146 | 1,0528 | 4,3470             |
| 147 | 1,0528 | 8,3890             |
| 148 | 1,0577 | 0,3063             |
| 149 | 1,0735 | 5,2574             |
| 150 | 0,9869 | 6,3552             |
| 151 | 1,0048 | 4,1504             |
| 152 | 1,0535 | 9,2639             |
| 153 | 1,0435 | 10,4837            |
| 154 | 0,9664 | -1,7757            |



| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 155 | 1,0177 | 6,7744             |
| 156 | 0,9630 | 5,1688             |
| 157 | 0,9845 | -11,9050           |
| 158 | 0,9987 | -11,3807           |
| 159 | 0,9866 | -9,7983            |
| 160 | 0,9998 | -12,5302           |
| 161 | 1,0361 | 8,8670             |
| 162 | 0,9918 | 18,5239            |
| 163 | 1,0410 | 2,9293             |
| 164 | 0,9839 | 9,6845             |
| 165 | 1,0002 | 26,3320            |
| 166 | 0,9973 | 30,2437            |
| 167 | 0,9715 | -6,8853            |
| 168 | 1,0024 | -4,7789            |
| 169 | 0,9879 | -6,6565            |
| 170 | 0,9290 | 0,1077             |
| 171 | 0,9829 | -9,9139            |
| 172 | 1,0245 | -6,1996            |
| 173 | 0,9837 | -12,7288           |
| 174 | 1,0622 | -2,6667            |
| 175 | 0,9731 | -7,1803            |
| 176 | 1,0522 | 4,6912             |
| 177 | 1,0077 | 0,6457             |
| 178 | 0,9398 | -6,5368            |
| 179 | 0,9699 | -9,3376            |
| 180 | 0,9793 | -3,0651            |
| 181 | 1,0518 | -1,3032            |
| 182 | 1,0446 | -4,1651            |
| 183 | 0,9716 | 7,1451             |
| 184 | 1,0386 | -6,8245            |
| 185 | 1,0522 | -4,3101            |
| 186 | 1,0650 | 2,1943             |
| 187 | 1,0650 | 1,4190             |
| 188 | 1,0533 | -0,7012            |
| 189 | 1,0028 | -26,0133           |
| 190 | 1,0551 | -20,4166           |
| 191 | 1,0435 | 12,4517            |
| 192 | 0,9375 | -10,9776           |
| 193 | 0,9982 | -27,4703           |
| 194 | 1,0490 | -19,0448           |
| 195 | 1,0359 | -20,5808           |
| 196 | 0,9740 | -24,2286           |
| 197 | 0,9925 | -23,0617           |
| 198 | 1,0150 | -20,0943           |
| 199 | 0,9543 | -25,4462           |

| Bus | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|-----|--------|--------------------|
| 200 | 0,9562 | -25,3671           |
| 201 | 0,9740 | -29,2331           |
| 202 | 0,9908 | -24,9694           |
| 203 | 1,0034 | -21,9255           |
| 204 | 0,9667 | -29,5487           |
| 205 | 0,9856 | -28,5158           |
| 206 | 1,0038 | -28,4732           |
| 207 | 1,0186 | -28,2951           |
| 208 | 0,9994 | -26,9980           |
| 209 | 1,0048 | -25,6141           |
| 210 | 0,9805 | -23,6028           |
| 211 | 1,0018 | -22,9715           |
| 212 | 1,0133 | -22,2030           |
| 213 | 1,0100 | -11,3792           |
| 214 | 0,9919 | -17,2380           |
| 215 | 0,9866 | -19,9510           |
| 216 | 0,9751 | -22,2714           |
| 217 | 1,0215 | -21,9868           |
| 218 | 1,0075 | -22,4218           |
| 219 | 1,0554 | -20,9474           |
| 220 | 1,0080 | -21,5198           |
| 221 | 1,0000 | -22,2851           |
| 222 | 1,0500 | -22,9639           |
| 223 | 0,9966 | -22,4955           |
| 224 | 1,0003 | -21,3497           |
| 225 | 0,9453 | -11,1415           |
| 226 | 1,0180 | -21,4055           |
| 227 | 1,0000 | -27,0161           |
| 228 | 1,0424 | -20,7369           |
| 229 | 1,0496 | -19,7413           |
| 230 | 1,0400 | -13,6199           |
| 231 | 1,0535 | -21,0203           |
| 232 | 1,0415 | -22,9942           |
| 233 | 1,0000 | -25,6959           |
| 234 | 1,0387 | -20,6906           |
| 235 | 1,0095 | -20,8231           |
| 236 | 1,0165 | -15,1952           |
| 237 | 1,0559 | -20,8975           |
| 238 | 1,0100 | -20,7353           |
| 239 | 1,0000 | -15,6565           |
| 240 | 1,0238 | -19,9339           |
| 241 | 1,0500 | -16,3037           |
| 242 | 0,9930 | -17,2263           |
| 243 | 1,0100 | -18,9492           |
| 244 | 0,9922 | -19,8879           |

| Bus  | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|------|--------|--------------------|
| 245  | 0,9711 | -20,5772           |
| 246  | 0,9652 | -21,4161           |
| 247  | 0,9691 | -21,3304           |
| 248  | 0,9770 | -24,8098           |
| 249  | 0,9762 | -25,2333           |
| 250  | 1,0205 | -23,3789           |
| 281  | 1,0251 | -19,8611           |
| 319  | 1,0152 | 1,4877             |
| 320  | 1,0146 | -2,2214            |
| 322  | 1,0004 | -17,6905           |
| 323  | 0,9809 | -13,7482           |
| 324  | 0,9749 | -23,5218           |
| 526  | 0,9429 | -34,2770           |
| 528  | 0,9724 | -37,5425           |
| 531  | 0,9605 | -29,0644           |
| 552  | 1,0009 | -23,3304           |
| 562  | 0,9777 | -27,9442           |
| 609  | 0,9583 | -28,7596           |
| 664  | 1,0310 | -16,8328           |
| 1190 | 1,0129 | 3,9248             |
| 1200 | 1,0244 | -7,5031            |
| 1201 | 1,0122 | -15,1564           |
| 2040 | 0,9695 | -24,7010           |
| 7001 | 1,0507 | 10,8092            |
| 7002 | 1,0507 | 12,5019            |
| 7003 | 1,0323 | 13,7745            |
| 7011 | 1,0145 | 5,0091             |
| 7012 | 1,0507 | 11,5891            |
| 7017 | 1,0507 | -10,4509           |
| 7023 | 1,0507 | 6,1616             |
| 7024 | 1,0290 | 12,6080            |
| 7039 | 1,0500 | 2,1462             |
| 7044 | 1,0145 | -13,8809           |
| 7049 | 1,0507 | 0,0000             |
| 7055 | 0,9967 | -7,4756            |
| 7057 | 1,0212 | -3,4110            |
| 7061 | 1,0145 | 2,0023             |
| 7062 | 1,0017 | 5,8305             |
| 7071 | 0,9893 | -25,3153           |
| 7130 | 1,0507 | 19,0438            |
| 7139 | 1,0507 | 2,7689             |
| 7166 | 1,0145 | 35,0724            |
| 9001 | 1,0118 | -11,2347           |
| 9002 | 0,9945 | -18,8437           |
| 9003 | 0,9833 | -19,6731           |

| Bus  | V (pu) | $\theta$ (derajat) |
|------|--------|--------------------|
| 9004 | 0,9768 | -19,8103           |
| 9005 | 1,0117 | -11,3081           |
| 9006 | 1,0029 | -17,4122           |
| 9007 | 0,9914 | -18,6732           |
| 9012 | 1,0023 | -17,2529           |
| 9021 | 0,9887 | -19,0644           |
| 9022 | 0,9649 | -21,6368           |
| 9023 | 0,9747 | -19,3735           |
| 9024 | 0,9705 | -21,4097           |
| 9025 | 0,9648 | -20,4347           |
| 9026 | 0,9656 | -20,3455           |
| 9031 | 0,9317 | -25,0161           |
| 9032 | 0,9441 | -23,8272           |
| 9033 | 0,9288 | -25,3314           |
| 9034 | 0,9972 | -21,0868           |
| 9035 | 0,9504 | -23,1722           |
| 9036 | 0,9597 | -22,6583           |
| 9037 | 0,9570 | -22,5794           |
| 9038 | 0,9392 | -24,4110           |
| 9041 | 0,9636 | -21,3118           |
| 9042 | 0,9503 | -22,4764           |
| 9043 | 0,9647 | -21,4142           |
| 9044 | 0,9790 | -19,7702           |
| 9051 | 1,0000 | -19,3814           |
| 9052 | 0,9786 | -17,2329           |
| 9053 | 1,0000 | -17,6684           |
| 9054 | 1,0000 | -6,8122            |
| 9055 | 1,0000 | -7,5232            |
| 9071 | 0,9754 | -20,4586           |
| 9072 | 0,9805 | -19,9048           |
| 9121 | 0,9799 | -19,2771           |
| 9533 | 1,0405 | -18,1823           |