

MAKALAH SEMINAR HASIL

**ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN
KOMPUTASI PARALEL**



Disusun oleh :

M. IZZAT HARISI

NIM: 0810630069 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2012

ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN KOMPUTASI PARALEL

MAKALAH SEMINAR HASIL

Disusun oleh :

M. IZZAT HARISI

NIM: 0810630069 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing:

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

ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN KOMPUTASI PARALEL

M. Izzat Harisi¹, Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.², Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: disis_zzadt@hotmail.com

Abstract- Power flow analysis of a electric power system is performed by solving power flow equations that involving an iterative process. Nowadays, it is simplified by using computer. It is necessary to use computer program to solving the load flow analysis. There are two approaches to execute the power flow analysis program based on the usage of the processor, i.e. sequential algorithm and parallel algorithm.

In this paper, simulation of power flow analysis with parallel algorithm use three data IEEE power systems, i.e. 30 bus, 118 bus, and 300 bus. It use Newton Raphson methode to solving the power flow analysis. Power flow analysis simulation program is executed by using Matlab. Graphical User Interface (GUI) based application is formed to execute that program.

The result of simulation show that parallel algorithm accelerate computation of power system analysis in IEEE power system 118 bus and 300 bus. Voltage magnitude, voltage phase angle, and power losses of algorithm parallel is equal to sequential algorithm.

Index Terms- power systems, parallel algorithm, iteration time, voltage magnitude, voltage phase angle, power losses.

Abstrak- Analisis aliran daya dari suatu sistem tenaga listrik dilakukan dengan cara menyelesaikan persamaan-persamaan aliran daya yang melibatkan suatu proses perulangan (iterasi). Saat ini, perhitungan aliran daya tersebut dipermudah dengan menggunakan komputer. Program komputer membantu perhitungan aliran daya. Berdasarkan penggunaan prosesor komputer, proses perhitungan aliran daya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dan perhitungan aliran daya komputasi paralel

Dalam skripsi ini, simulasi perhitungan aliran daya komputasi paralel menggunakan data sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Metode aliran daya yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah metode Newton Raphson. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab. Aplikasi berbasis Garphical User Interface (GUI) dibentuk untuk melakukan simulasi tersebut.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa komputasi paralel mempercepat perhitungan aliran daya pada sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus. Besar tegangan, sudut fasa tegangan, dan rugi daya dari hasil perhitungan aliran daya komputasi paralel sama dengan komputasi sekuensial.

Kata Kunci- sistem transmisi, komputasi paralel, waktu iterasi, besar tegangan, sudut fasa tegangan, rugi daya.

I. PENDAHULUAN

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 digunakan pada skripsi ini adalah 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 antara perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dengan perhitungan aliran daya komputasi paralel.

Pada skripsi ini akan dilakukan perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton Raphson yang diparalelkan pada beberapa prosesor. Analisis aliran daya dengan komputasi paralel ini akan disimulasikan menggunakan *Parallel Computing Toolbox* (PCT)

Matlab R2010a. Simulasi dilakukan pada sistem transmisi IEEE 30 bus, 118 bus, dan 300 bus. Dari simulasi tersebut akan dibandingkan waktu yang dibutuhkan untuk iterasi dengan menggunakan perhitungan aliran daya komputasi sekuensial dan paralel. Selain itu juga membandingkan hasil simulasi dari kedua perhitungan aliran daya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Persamaan Sistem Aliran Daya

Persamaan untuk sistem tenaga listrik dapat dinyatakan dalam bentuk admitansi sebagai berikut ^[5] :

$$I_{bus} = Y_{bus}V_{bus} \quad (1)$$

dimana

I_{bus} : matriks arus pada setiap bus

Y_{bus} : matriks admitansi

V_{bus} : matriks tegangan pada setiap bus

Persamaan (2) merupakan perhitungan daya di masing-masing bus ^[3].

$$P_p - jQ_p = V_p^* i_{pq} \quad (2)$$

dimana

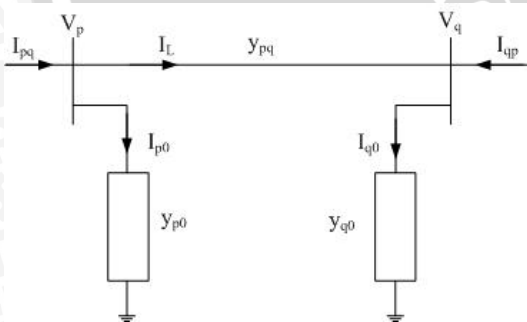
P_p : Daya aktif pada bus p

Q_p : Daya reaktif pada bus p

V_p : Tegangan pada bus p

i_{pq} : Arus pada saluran antara bus p dan q

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.



Gambar 1 Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya

(Sumber: Nugroho, 2008)

Perhatikan saluran yang terhubung antara bus p dan q pada Gambar 1. Arus saluran I_{pq} diukur pada bus p dan dianggap positif untuk arah p ke q , dapat ditulis pada Persamaan (3) ^[6].

$$I_{pq} = I_L + I_{p0} = y_{pq}(V_p - V_q) + y_{p0}V_p \quad (3)$$

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 (4).

$$I_{qp} = -I_L + I_{q0} = y_{pq}(V_q - V_p) + y_{q0}V_q \quad (4)$$

Daya kompleks S_{pq} dari bus p ke q dan S_{qp} dari bus q ke p dinyatakan pada Persamaan (5) dan (6) ^[6].

$$S_{pq} = V_p I_{pq}^* \quad (5)$$

$$S_{qp} = V_q I_{qp}^* \quad (6)$$

Rugi daya dalam saluran pq adalah penjumlahan dari daya yang ditentukan dari Persamaan (5) dan (6), sehingga dapat dinyatakan pada Persamaan (7).

$$S_{L\ pq} = S_{pq} + S_{qp} \quad (7)$$

Sehingga persamaan untuk mendapatkan total rugi saluran untuk sistem dengan jumlah n bus adalah pada Persamaan (8) ^[6].

$$S_{LT} = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n S_{L\ pq} \quad (8)$$

dimana

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

S_{LT} : Total rugi daya

B. Metode Newton Raphson

Masalah aliran daya dapat diselesaikan dengan metode Newton-Raphson yang menggunakan sejumlah persamaan nonlinier. Persamaan tersebut menyatakan daya aktif dan reaktif sebagai fungsi dari besar tegangan dan sudut fasa tegangan. Misalkan $V_p = V_p \angle \delta_p$, $Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$, dan $\theta_{pq} = \theta_p - \theta_q$, persamaan daya pada suatu bus p dapat ditulis sebagai berikut ^[5] :

$$P_p - jQ_p = V_p I_p^* = V_p \sum_{q=1}^n (G_{pq} + jB_{pq}) V_q \angle (\theta_q - \theta_p) \quad (9)$$

Dengan memisahkan bagian nyata dan imajiner dari Persamaan (9), diperoleh persamaan daya aktif dan reaktif pada bus p sebagai berikut ^[5]:

$$P_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (10)$$

$$Q_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (11)$$

Dengan linierisasi, akan diperoleh sebuah sistem linier dalam $\Delta\delta$ dan $\Delta V/V$ yang dapat ditulis dalam Persamaan (12) ^[3]:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (12)$$

dengan

$$\Delta P_p = P_p^{diket} - V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (13)$$

$$\Delta Q_p = Q_p^{diket} - V_p \sum_{q=1}^n V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (14)$$

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

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 $p \neq q$

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} = V_p V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (15)$$

$$N_{pq} = V_q \frac{\partial P_p}{\partial V_q} = V_p V_q (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (16)$$

$$J_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = V_p V_q (-G_{pq} \cos \theta_{pq} - B_{pq} \sin \theta_{pq}) \quad (17)$$

$$L_{pq} = V_q \frac{\partial Q_p}{\partial V_q} = V_p V_q (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) \quad (18)$$

o Untuk $p = q$

$$H_{pp} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_p} = -Q_p - B_{pp} V_p^2 \quad (19)$$

$$N_{pp} = V_p \frac{\partial P_p}{\partial V_p} = P_p + G_{pp} V_p^2 \quad (20)$$

$$J_{pp} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} = P_p - G_{pp} V_p^2 \quad (21)$$

$$L_{pp} = V_p \frac{\partial Q_p}{\partial V_p} = Q_p - B_{pp} V_p^2 \quad (22)$$

Jika bus p adalah bus PV dimana nilai Q_p tidak ditentukan nilainya, sehingga tidak diperoleh nilai ΔQ_p . Sebaliknya karena besar tegangan dijaga tetap maka nilai $\Delta V_p = 0$ [5].

Hasil dari penyelesaian Persamaan (12) 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 (23) dan (24) [3].

$$\theta^{baru} = \theta^{lama} + \Delta \theta \quad (23)$$

$$V^{baru} = V^{lama} + \frac{\Delta V}{V} V^{lama} \quad (24)$$

dimana

θ^{baru} : Sudut fasa tegangan baru

θ^{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.

C. Dekomposisi LU

Dekomposisi LU adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan linier. Jika matriks A non singular maka A dapat diuraikan menjadi dua matriks segitiga, yaitu matriks segitiga bawah L (*lower*) dan matriks segitiga atas U (*upper*) [2]:

$$A = LU \quad (25)$$

dimana L adalah matriks segitiga bawah dan U adalah matriks segitiga atas. Kedua matriks memiliki orde matriks yang sama dengan matriks A. Menurut penyelesaian Persamaan (25), metode Dekomposisi LU dapat dibagi menjadi 2, yaitu metode Doolittle (Eliminasi Gauss) dan metode Crout. Dalam skripsi ini digunakan metode Doolittle [2].

Bentuk umum dari matriks L dan U dapat dituliskan sebagai berikut

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ l_{21} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (26)$$

dimana nilai $l_{ij} = 0$ dengan $i < j$ dan $u_{ij} = 0$ dengan $i > j$. Misalkan, sebuah persamaan linier

$$Ax = b \quad (27)$$

dan A dapat difaktorkan menjadi matriks L dan U, seperti pada Persamaan (26). Sehingga Persamaan (27) menjadi seperti berikut:

$$LUx = b \quad (28)$$

Persamaan (28) dapat diuraikan menjadi Persamaan (29) dan (30)

$$Ux = y \quad (29)$$

$$Ly = b \quad (30)$$

Elemen matriks L dan matriks U didapatkan dengan menyamakan elemen matriks A dan LU secara sistematis. Setelah matriks L dan U sudah didapatkan, Persamaan (28) dapat diselesaikan dengan 2 langkah [2].

1. Menyelesaikan persamaan $Ly = b$

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

$$y_1 = b_1 \quad (29)$$

$$y_i = b_i - \sum_{j=1}^{i-1} l_{ij} y_j \quad (30)$$

2. Menyelesaikan persamaan $Ux = y$

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

$$x_n = \frac{y_n}{u_{nn}} \quad (31)$$

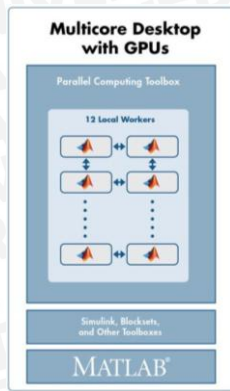
$$x_i = \frac{1}{u_{ii}} y_i - \sum_{j=i+1}^n u_{ij} x_j \quad (32)$$

$$i = n - 1, n - 2, \dots, 1$$

D. Parallel Computing Toolbox (PCT)

Matlab telah mengembangkan *Parallel Computing Toolbox* (PCT) yang dibutuhkan dalam semua aplikasi paralel. PCT dikembangkan mulai Matlab versi 2008a hingga sekarang [1]. PCT memudahkan pengguna untuk menyelesaikan masalah perhitungan dengan menggunakan *multicore processors*, GPUs, dan *cluster komputer*. PCT mampu berkerja hingga 12 “worker”

atau Matlab *Lab* dalam satu mesin (komputer) [4]. Gambar 2 menunjukkan arsitektur dari *Parallel Computing Toolbox*.



Gambar 2 *Parallel Computing Toolbox*
(Sumber: Samsi, 2008)

Pada PCT ini terdapat beberapa fungsi yang digunakan untuk melakukan perhitungan secara komputasi paralel. Fungsi-fungsi yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1) *matlabpool*

Fungsi ini digunakan untuk menyediakan prosesor yang dapat digunakan untuk perhitungan paralel.

2) *spmd*

Dalam PCT, perhitungan paralel dengan *single program multiple data* ini dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *spmd* pada Matlab.

3) *codistributed*

Fungsi ini dapat mendistribusikan suatu array atau matriks ke masing-masing prosesor agar dapat bekerja dalam paralel.

4) *gop* dan *gcat*

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

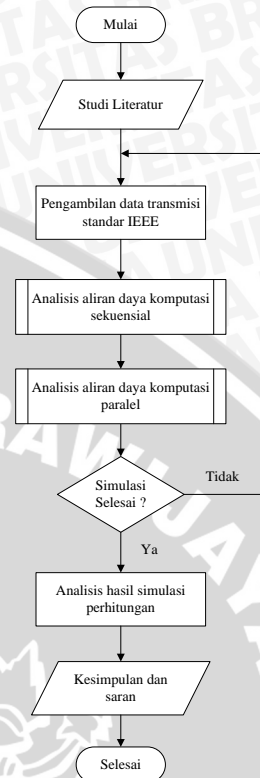
III. METODOLOGI PENELITIAN

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. Langkah penelitian analisis aliran daya komputasi paralel dapat digambarkan pada Gambar 3.

Dalam skripsi ini, dibuat suatu tampilan (*interface*) untuk menggunakan *toolbox* GUIDE yang terdapat pada Matlab agar memudahkan dalam simulasi dan penelitian. Proses simulasi menggunakan program analisis aliran daya dengan metode Newton Raphson. Dari hasil simulasi, dilakukan analisis hasil perhitungan yang meliputi:

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.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN 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 30 bus, 118 bus, dan 300 bus.

A. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk membentuk data yang sudah didapat menjadi data matriks. Data matriks ini yang digunakan dalam perhitungan aliran daya.

1. Pengolahan Data Matriks Sekuensial

Dari data sistem transmisi, dibentuk matriks data sebagai data masukan perhitungan aliran daya. 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 (θ), dan daya (Sbus) memiliki dimensi matriks 30x1. Sedangkan untuk matriks admitansi (Ybus) memiliki dimensi matriks 30x30.



2. Pengolahan Data Matriks Paralel

Matriks data komputasi paralel ini digunakan untuk perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel. Matriks data tersebut didistribusikan sesuai dengan jumlah prosesor yang digunakan. Matriks V, θ , Ybus, dan Sbus didistribusikan dengan membagi dimensi matriks menjadi 2 matriks. Matriks V, θ , dan Sbus memiliki dimensi matriks 15x1 pada masing-masing prosesor. Sedangkan matriks Ybus paralel memiliki dimensi matriks 15x30 pada masing-masing prosesor.

B. Simulasi Aliran Daya

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

1. Simulasi Aliran Daya Komputasi Sekuensial

Hasil simulasi komputasi sekuensial menggunakan aplikasi analisis aliran daya pada data sistem transmisi IEEE 30 bus terdapat pada Gambar 3.

Bus	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	1	0	25.9661	-0.9987
2	1	-0.4153	39.2680	19.2905
3	0.9831	-1.5218	-2.4013	-1.1986
4	0.9801	-1.7944	-7.6014	-1.5983
5	0.9824	-1.8635	-0.0013	0.0013
6	0.9732	-2.2665	-0.0036	0.0035
7	0.9674	-2.6513	-22.7964	-10.8997
8	0.9606	-2.7252	-29.9934	-29.9977
9	0.9805	-2.9962	7.1260e-04	5.3192e-04
10	0.9844	-3.3741	-5.7990	-1.9992
11	0.9805	-2.9962	0	0
12	0.9855	-1.5363	-11.2011	-7.4966
13	1	1.4767	36.9992	11.3502
14	0.9767	-2.3073	-6.1994	-1.5999
15	0.9802	-2.3110	-8.1994	-2.4994
16	0.9774	-2.6437	-3.4996	-1.7996
17	0.9769	-2.3110	-8.0000	-6.7000

Waktu Iterasi (sekon): 0.0128
 Total Rugi Daya: P (MW) 2.4431, Q (MVAR) -6.7875

Gambar 4 Hasil simulasi komputasi sekuensial sistem transmisi IEEE 30 bus (Sumber: Hasil Simulasi)

Simulasi ini juga dilakukan pada sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus. Simulasi dilakukan dengan variasi nilai *error* yang berbeda-beda. Hasil simulasi secara umum terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil perhitungan komputasi sekuensial

Jumlah Bus	Nilai Error	Jumlah Iterasi	Waktu Iterasi (sekon)
30 bus	1×10^{-3}	3	0,0128
	1×10^{-6}	5	0,0258
	1×10^{-8}	6	0,0281
118 bus	1×10^{-3}	2	0,1878
	1×10^{-6}	4	0,3668
	1×10^{-8}	6	0,5243
300 bus	1×10^{-3}	4	5,0549
	1×10^{-6}	6	7,0296
	1×10^{-8}	8	9,8259

2. Simulasi Aliran Daya Komputasi Paralel

Hasil simulasi komputasi paralel menggunakan aplikasi analisis aliran daya pada data sistem transmisi IEEE 30 bus terdapat pada Gambar 4.

LAB 1			LAB 2		
Bus	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Bus	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)
1	1	0	16	0.9774	-2.6437
2	1	-0.4153	17	0.9769	-3.3915
3	0.9831	-1.5218	18	0.9684	-3.4774
4	0.9801	-1.7944	19	0.9653	-3.9572
5	0.9824	-1.8635	20	0.9692	-3.8700
6	0.9732	-2.2665	21	0.9934	-3.4874
7	0.9674	-2.6513	22	1	-3.3918
8	0.9606	-2.7252	23	1	-1.5883
9	0.9805	-2.9962	24	0.9886	-2.6305
10	0.9844	-3.3741	25	0.9902	-1.6891
11	0.9805	-2.9962	26	0.9722	-2.1384
12	0.9855	-1.5363	27	1	-0.8276
13	1	1.4767	28	0.9747	-2.2654
14	0.9767	-2.3073	29	0.9796	-2.1276
15	0.9802	-2.3110	30	0.9679	-3.0405

Waktu Iterasi (Sekon): 0.0422

Gambar 5 Hasil simulasi komputasi paralel sistem transmisi IEEE 30 bus (Sumber: Hasil Simulasi)

Simulasi ini juga dilakukan pada sistem transmisi IEEE 118 bus dan 300 bus. Simulasi dilakukan dengan variasi nilai *error* yang berbeda-beda. Hasil simulasi secara umum terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan komputasi paralel

Jumlah Bus	Nilai Error	Jumlah Iterasi	Waktu Iterasi (sekon)
30 bus	1×10^{-3}	3	0,0422
	1×10^{-6}	5	0,0692
	1×10^{-8}	6	0,0821
118 bus	1×10^{-3}	2	0,1106
	1×10^{-6}	4	0,2209
	1×10^{-8}	6	0,3229
300 bus	1×10^{-3}	4	2,0082
	1×10^{-6}	6	2,8727
	1×10^{-8}	8	3,7113

C. Perhitungan Rugi Daya

Rugi daya sistem transmisi dihitung menggunakan Persamaan (7). Tegangan yang digunakan adalah tegangan hasil iterasi perhitungan aliran daya. Total rugi daya dari sistem ini dapat dihitung dengan menjumlahkan rugi daya masing-masing saluran seperti pada Persamaan (8). Total rugi daya untuk masing-masing data sistem transmisi dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa daya dibutuhkan oleh beban terpenuhi dengan menghasilkan total rugi daya masing-masing sistem.

Tabel 3 Total rugi daya sistem transmisi

Data Sistem	Total Rugi Daya	
	P _{total} (MW)	Q _{total} (MVAR)
30 bus	2,4431	-6,7875
118 bus	132,8628	-642,3161
300 bus	409,5265	195,7385

D. 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.

1. Waktu Iterasi

Menurut hasil penelitian pada Tabel 4, 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 30×1 dan 30×30 dengan cepat.

Tabel 4 Perbandingan waktu iterasi komputasi sekuensial dan paralel

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

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.

2. Perbandingan Hasil Komputasi Paralel dan Komputasi Sekuensial

Dari hasil perhitungan pada Gambar 4, dapat dilihat hasil perhitungan aliran daya sistem transmisi IEEE 30 bus menggunakan komputasi paralel menghasilkan besaran tegangan dan sudut fasa tegangan yang sama dengan hasil komputasi sekuensial pada Gambar 5. 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.

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.

3. Analisis Hasil Perhitungan

Dari hasil simulasi, hasil perhitungan aliran daya dengan komputasi paralel dalam bentuk matriks terdistribusi dalam 2 prosesor. Hasil perhitungan paralel ini digabungkan menjadi matriks non-distribusi. Penggabungan hasil perhitungan ini dilakukan agar hasil perhitungan iterasi dapat dianalisis atau digunakan untuk perhitungan lain.

Dari hasil perhitungan pada sistem transmisi IEEE 30 bus dan 118 bus, besar tegangan yang dihasilkan berada diantara tegangan maksimum dan minimum dari sistem transmisi tersebut. Hal ini membuktikan bahwa sistem transmisi IEEE 30 bus dan 118 bus memiliki sistem yang bagus. Sedangkan pada sistem transmisi 300 bus, beberapa besar tegangan dari bus sistem ini yang melebihi dari tegangan maksimum dan kurang dari tegangan minimum. Dengan adanya besar tegangan yang melebihi atau kurang dari tegangan yang dibutuhkan maka sistem transmisi ini tidak bagus.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

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.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dari skripsi ini adalah:

1. Komputasi paralel ini dapat disimulasikan pada analisis aliran daya dengan sistem transmisi dengan jumlah bus 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

- [1] Burkaradt, John. 2009. *MATLAB Parallel Computing*. Virginia: Information Technology Department Virginia Tech.
- [2] Butt, Rizwan. 2009. *Introduction to Numerical Analysis Using MATLAB*. USA: Jones & Bartlett Learning.
- [3] Grainger, John J. & Stevenson, William D. 1994. *Power System Analysis*. Singapore : Mcgraw-Hill.
- [4] Krishnamurthy, A., Samsi, S., & Gadepally, V. 2009. *Parallel MATLAB Techniques*. USA: Ohio Supercomputer Center and Ohio State University.
- [5] Kundur, P. 1994. *Power System Stability and Control*. New York : McGraw-Hill.
- [6] 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.