

# Pengembangan Model Sistem Tenaga Listrik dengan Power Word Sebagai Alat Bantu Pembelajaran Untuk Perhitungan Aliran Daya Secara Cepat

Oriza Candra<sup>1)</sup>, Ali Basrah Pulungan<sup>2)</sup>, Ichwan Yelfianhar<sup>3)</sup>

<sup>1)2)3)</sup> Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang  
Jl. Prof. Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131 Tel: +62 751 55644

## Abstract

The electric power system is a complex system which consists of generation, transmission lines, and distribution system. The analysis of load flow in transmission lines and distribution system is importance to improve the reliability of the power system. However, the students often find it difficult and take a long time to finish the calculation of the load flow analysis manually.

The advance development of software technology can be used to help the student to understand the load flow analysis with quick method. *Power Word* as one of the freeware developed to analyze the power system can be used to calculate the load flow analysis quickly. The real power system grid can be simulated through visual models and the flow of the load on the system can be demonstrated to the student. By creating power systems models and perform load flow analysis using this freeware, the student will be able to see and understand the load flow concept and calculation in a short time. Therefore using *Power Word* as a tool in learning process will improve the comprehension of the student in load flow analysis.

*Keywords: Load flow, simulation, power word.*

## I. LATAR BELAKANG

Sistem tenaga listrik terdiri dari pembangkitan, sistem transmisi dan sistem Distribusi, sistem ini memerlukan investasi besar dan membutuhkan tenaga ahli untuk menganalisisnya. Analisis aliran daya diperlukan gunakan melihat parameter sistem sehingga dihasilkan suatu sistem yang mempunyai keandalan yang tinggi.

Perhitungan aliran daya termasuk dalam mata kuliah sistem tenaga listrik. Selama ini mahasiswa sangat sulit memahami metode perhitungan aliran daya dan dalam menyelesaikan perhitungannya membutuhkan waktu yang lama, hal ini disebabkan rumusannya yang kompleks.

Guna mengatasi kendala tersebut di atas dapat dilakukan dengan kemajuan teknologi komputer seperti perangkat lunak dibidang sistem tenaga sangat membantu dalam perhitungan yang kompleks. Salah satu perangkat lunak tersebut adalah *power word*. *Power word* merupakan perangkat lunak simulasi yang dapat digunakan untuk simulasi sistem tenaga, salah satunya untuk perhitungan aliran daya. Tampilan

perangkat lunak ini dapat memperlihatkan arah aliran sehingga mahasiswa dapat lebih mengerti dan memahami metode perhitungan aliran daya sistem.

## II. PERMASALAHAN

Masalah perhitungan aliran daya dapat dirumuskan dalam beberapa bagian :

1. Sulitnya perhitungan aliran daya system tenaga listrik
2. Sulitnya menentukan aliran daya pada diagram system tenaga listrik.

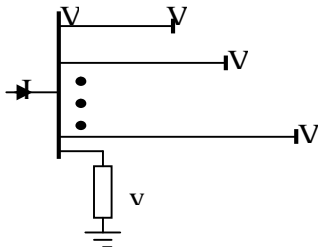
## III. Tujuan

1. Bagaimana menghitung aliran daya secara cepat.
2. Bagaimana melihat aliran daya melalui simulasi
3. Bagaimana menghitung tegangan dan arus

#### IV. KAJIAN TEORITIK

##### 1. Pemodelan Aliran Daya Metode Newton-Raphson

Tipe bus suatu jaringan sistem daya seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Saluran transmisi dipresentasikan oleh model ekivalen dimana impedansi telah dikonversikan ke dalam bentuk per unit pada basis MVA.



Gambar 1 Tipikal bus sistem daya

Dengan menerapkan Hukum Kirchoff tentang arus terhadap bus diperoleh hasil

$$I_i = y_{i0} \cdot V_i + y_{i1}(V - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \quad i \quad \dots \dots \dots (1)$$

Daya nyata dan daya reaktif pada bus  $i$  adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad \dots \dots \dots (2)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Substitusikan ke persamaan (2.16), akan diperoleh hasilnya

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \quad i \quad \dots \dots \dots (4)$$

Dari hubungan di atas, rumus matematika pada persoalan aliran daya dihasilkan dalam sistem persamaan yang mana harus dipecahkan melalui teknik iterasi.

Sejumlah iterasi yang diperlukan untuk memperoleh pemecahan adalah independen pada ukuran sistem, tetapi evaluasi yang lebih fungsional diperlukan pada setiap iterasi. Karena dalam persoalan aliran daya nyata dan magnitude tegangan adalah yang ditetapkan untuk tegangan

bus-bus yang terkontrol, persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Untuk aliran daya dari tipe bus pada Gambar 1 besar arus masukan bus  $i$  sebesar pada persamaan 1. Persamaan dapat ditulis kembali dalam istilah admitansi bus seperti,

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad \dots \dots \dots (5)$$

Dalam persamaan di atas,  $j$  termasuk bus  $i$ .

Persamaan ini bila dinyatakan dalam bentuk polar, diperoleh :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + u_j \quad \dots \dots \dots (6)$$

Daya pada bus  $i$  dalam bentuk kompleks adalah

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad \dots \dots \dots (7)$$

Substitusikan persamaan (2.21) ke persamaan (7),

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -u_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + u_j \quad \dots (8)$$

Bagian riil dipisahkan dengan bagian imajiner,

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\angle_{ij} - u_i + u_j) \quad \dots \dots (9)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\angle_{ij} - u_i + u_j) \quad \dots (10)$$

Persamaan (9) dan (10) sebagai dasar suatu pasangan persamaan aljabar nonlinier dalam istilah dari variabel independen, besaran tegangan dalam per unit, dan sudut fase dalam radian. Persamaan untuk setiap bus beban, diberikan oleh (9) dan (10), dan satu persamaan untuk setiap tegangan terkontrol bus, diberikan oleh (9). Pengembangan dari persamaan (9) dan (10) dalam *Taylor's series* tentang perkiraan awal dan mengabaikan seluruh orde yang lebih tinggi menghasilkan satu set persamaan linier sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta u_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix}$$

Dalam persamaan di atas, bus 1 diasumsikan sebagai slack bus. Matriks Jacobian memberikan hubungan linierisasi antara perubahan kecil dalam sudut tegangan  $\Delta u_i^{(k)}$  dan besaran tegangan  $\Delta |V_i^{(k)}|$  dengan perubahan kecil dalam daya nyata  $\Delta P_i^{(k)}$  dan daya reaktif  $\Delta Q_i^{(k)}$ . Unsur-unsur matriks Jacobian adalah derivatif parsial pada persamaan (9) dan (10), yang dievaluasi pada  $\Delta u_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i^{(k)}|$ . Dalam bentuk sederhana dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (11)$$

Tegangan yang terkontrol pada bus-bus, besaran tegangan diketahui. Oleh karena itu, jika bus pada system m pada sistem adalah tegangan yang terkontrol, persamaan m mengandung  $\Delta Q$  dan  $\Delta V$  dan kolom yang bersesuaian pada matriks Jacobian dieliminasi. Maka kekangan daya nyata  $n-1$  dan kekangan daya reaktif  $n-1-m$  dan matriks Jacobian adalah orde  $(2n-2-m) \times (2n-2-m)$ .  $J_1$  adalah orde  $(n-1) \times (n-1)$ ,  $J_2$  adalah orde  $(n-1) \times (n-1-m)$ ,  $J_3$  adalah orde  $(n-1-m) \times (n-1)$ ,  $J_4$  adalah orde  $(n-1-m) \times (n-1-m)$ .

Unsur-unsur diagonal dan Off diagonal dari  $J_1$  adalah

Unsur-unsur diagonal dan Off diagonal dari  $J_1$  adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial u_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i + u_j) \dots \dots (12)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial u_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i + u_j) \quad j \neq i \dots (13)$$

Unsur-unsur diagonal dan Off diagonal dari  $J_2$  adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i + u_j) \dots (14)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i + u_j) \quad j \neq i \dots \dots (15)$$

Unsur-unsur diagonal dan Off diagonal dari  $J_3$  adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial u_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i + u_j) \dots \dots (16)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial u_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i + u_j) \quad j \neq i \dots (17)$$

Unsur-unsur diagonal dan Off diagonal dari  $J_4$  adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin Q_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i + u_j) \dots (18)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i + u_j) \quad j \neq i \dots \dots (19)$$

Istilah  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  adalah perbedaan antara penjadualan dan nilai perhitungan, dikenal sebagai daya sisa (*power residuals*), diberikan oleh

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \dots \dots \dots (20)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \dots \dots \dots (21)$$

Estimasi baru untuk tegangan bus adalah

$$u_i^{(k+1)} = u_i^{(k)} + \Delta u_i^{(k)} \dots \dots \dots (22)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \dots \dots \dots (23)$$

Prosedur untuk pemecahan aliran daya dengan metode Newton-Raphson sebagai berikut :

- a) Untuk beban bus, dimana  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  yang ditetapkan, besaran tegangan dan sudut fase di buat sama dengan nilai slack bus. Untuk tegangan regulasi bus, dimana  $|V_i|$  dan  $P_i^{sch}$  adalah yang ditetapkan, sudut fase dibuat sama dengan sudut slack bus.
- b) Untuk beban bus,  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$  dihitung dari persamaan (9) dan (10) serta  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  dihitung dari persamaan (20) dan (21).

- c) Untuk tegangan bus yang terkontrol,  $P_i^{(k)}$  dan  $\Delta P_i^{(k)}$  dihitung dari persamaan (9) dan (20) secara berturut-turut.
- d) Unsur-unsur matriks Jacobian ( $J_1, J_2, J_3, \text{ dan } J_4$ ) dihitung dari persamaan (22) – (19).
- e) Persamaan linier simultan (11) dipecahkan langsung melalui optimalisasi faktorisasi orde tiga dan eliminasi Gaussian.
- f) Besaran tegangan baru dan sudut fase adalah dihitung dari persamaan (22) dan (23).
- g) Proses diteruskan sampai tersisa  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  lebih kecil dari akurasi yang ditetapkan,

$$\begin{aligned} |\Delta P_i^{(k)}| &\leq v \\ |\Delta Q_i^{(k)}| &\leq v \dots \dots \dots (24) \end{aligned}$$

V. METODOLOGI

Penggunaan simulasi *power word* dimulai dengan membuat gambar sistem dan kemudian memasukkan data sistem yang diperlukan yaitu generator, saluran transmisi dan beban. Setelah gambar dan data sistem dimasukkan maka simulasi dengan *power word* akan memberi tampilan besaran parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan aliran daya, serta menampilkan visual arah aliran daya sistem.

VI. HASIL DAN PEMBASAN

1. Skenario *Power Word*

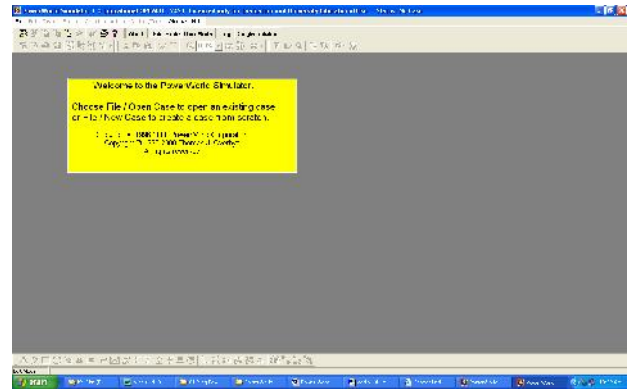
- a. Pilih pembuka simulasi *power word*
- b. Membuat Gambar Sistem Tenaga untuk simulasi
- c. Memasukkan data Generator yaitu daya aktif dan daya reaktif
- d. Memasukkan data satuan transmisi yaitu panjang saluran, reaktansi saluran dan admitansi saluran.
- e. Memasukkan data beban yaitu daya aktif dan daya reaktif

f. Kemudian lakukan running simulasi

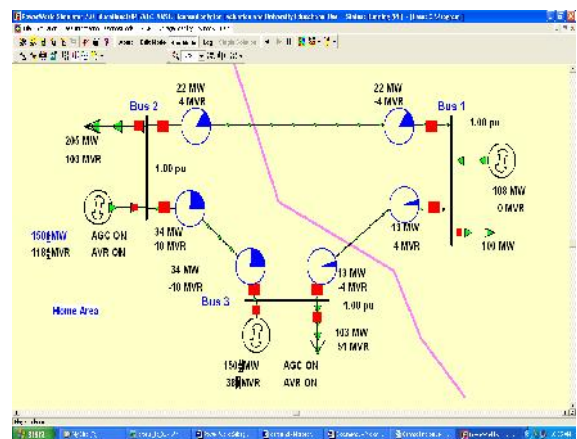
2. Hasil Simulasi

a. *Visual Power Word*

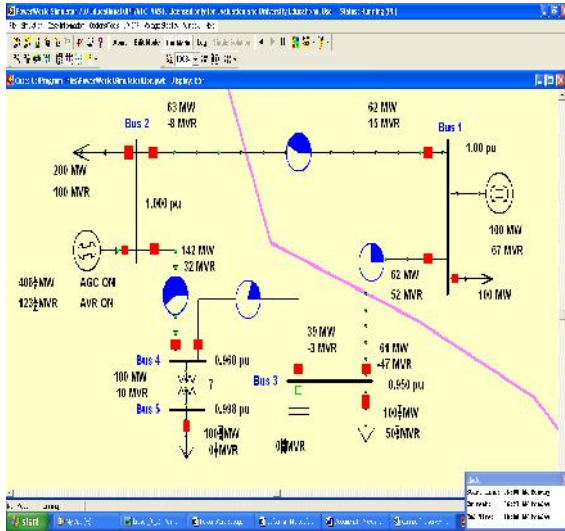
Setelah dilakukan running simulasi maka pada visual akan memperlihatkan besaran aliran daya dan arah aliran daya seperti gambar 2 dan 3 di bawah :



Gambar 2 Tampilan awal *power word*



(a)



(b)

Gambar 3 Simulasi dengan *power word*

Visual dari simulasi dengan *power word* ini ditunjukkan pada gambar 3 a dan 3 b. Gambar tersebut dapat menunjukkan besar dan arah jalan aliran daya. Penggunaan simulasi ini sangat menarik digunakan karena generator dan aliran daya saluran transmisi divisualisasikan secara bergerak.

b. Data Hasil Simulasi

Data hasil simulasi gambar 3.a ditunjukkan pada tabel 1 dan 2 di bawah :

Tabel 1 Hasil simulasi aliran daya

NO	BUS	DAYA AKTIF (MW)	DAYA REAKTIF MVAR
1	1 – 2	214	-35
2	2 – 1	210	40
3	1 – 3	136	- 35
4	3 – 1	133	45
5	2 – 3	68	22
6	3 – 2	69	-19

Tabel 2 Pembebanan Generator dan data beban

PEMBEBANAN	DAYA AKTIF (MW)	DAYA REAKTIF MVAR
Generator 1	450	- 66
Generator 2	150	290
Generator 3	150	133
Beban 1	100	-
Beban 2	355	183
Beban 3	214	107

VII. KESIMPULAN

Simulasi power word dapat digunakan sebagai media pada pengajaran analisa sistem tenaga listrik dan digunakan oleh mahasiswa sebagai alat penghitung aliran daya secara cepat.

VIII. Referensi

- (1) Grainger, J.J. dan Stevenson, W. D., 1994, *Power System Analysis*, McGraw Hill, Inc, New York.
- (2) Manual *Power Word*
- (3) Momoh, J.A., 2001, *Electric Power System Applications of Optomization*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- (4) Murty, PSR., 1984, *Power System Operation and Control*, McGraw-Hill, New Delhi.
- (5) Saadat, H., 1999, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- (6) Wood, A.J. dan Wollenberg, B.F., W., 1996, *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, Inc, New York