



CATATAN KULIAH MINGGU 8

Analisis Aliran Daya: Metodologi dan Aplikasi

Mata Kuliah: Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik
Program: Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Institution: Universitas Bengkulu

Contents

1	Pendahuluan	2
1.1	Definisi Analisis Aliran Daya	2
1.2	Aplikasi dalam Perencanaan dan Operasi	2
1.2.1	Aplikasi dalam Perencanaan	2
1.2.2	Aplikasi dalam Operasi	3
2	Formulasi Masalah Aliran Daya	3
2.1	Model Bus dalam Sistem Tenaga	3
2.2	Klasifikasi Bus	3
3	Metode Newton-Raphson	4
3.1	Konsep Dasar	4
3.2	Aplikasi pada Aliran Daya	4
3.3	Karakteristik Metode Newton-Raphson	4
3.3.1	Keunggulan	4
3.3.2	Keterbatasan	5
4	Metode Gauss-Seidel	5
4.1	Konsep Dasar	5
4.2	Karakteristik Metode Gauss-Seidel	5
4.2.1	Keunggulan	5
4.2.2	Keterbatasan	6
5	Perbandingan Metode	6



6	Aplikasi GNU Octave dan MATPOWER	6
6.1	Pengenalan MATPOWER	6
6.2	Menjalankan Power Flow	7
7	Problem Set: Power Flow Analysis	7
7.1	C1: Remember (Knowledge)	7
7.2	C2: Understand (Comprehension)	8
7.3	C3: Apply (Application)	8
7.4	C4: Analyze (Analysis)	9
7.5	C5: Evaluate (Evaluation)	9
7.6	C6: Create (Synthesis/Creation)	10
8	Real-World Case Study	11
9	Kesimpulan	11
9.1	Rangkuman Poin Kunci	11



1 Pendahuluan

1.1 Definisi Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya (power flow analysis atau load flow analysis) adalah perhitungan untuk menentukan kondisi operasi steady-state dari sistem tenaga listrik. Analisis ini menghitung:

- Magnitude dan sudut fasa tegangan di setiap bus
- Aliran daya aktif dan reaktif pada setiap saluran transmisi/transformator
- Rugi-rugi daya dalam sistem
- Daya pembangkitan yang diperlukan

Penting: Analisis aliran daya adalah **tool paling fundamental** dalam studi sistem tenaga dan merupakan basis untuk semua analisis lanjutan seperti:

- Studi stabilitas
- Studi kontingensi
- Optimal power flow (OPF)
- Economic dispatch
- Perencanaan ekspansi sistem

1.2 Aplikasi dalam Perencanaan dan Operasi

1.2.1 Aplikasi dalam Perencanaan

1. Evaluasi Ekspansi Sistem

- Menentukan kebutuhan penambahan pembangkit
- Evaluasi penambahan saluran transmisi baru
- Analisis lokasi optimal untuk pembangkit atau transformator baru

2. Studi Kontingensi (N-1, N-2)

- Analisis dampak kehilangan satu komponen (N-1)
- Analisis dampak kehilangan dua komponen simultan (N-2)
- Identifikasi komponen kritis

3. Analisis Integrasi Sumber Energi Terbarukan

- Dampak variabilitas pembangkitan (PLTS, PLTB)
- Kebutuhan kompensasi daya reaktif
- Analisis voltage rise pada distribusi dengan solar PV



1.2.2 Aplikasi dalam Operasi

1. Economic Dispatch

- Alokasi pembangkitan optimal berdasarkan biaya
- Dengan mempertimbangkan batasan aliran daya

2. Kontrol Tegangan

- Penentuan setting tap transformator
- Penempatan dan sizing kapasitor bank
- Setting AVR generator

3. Deteksi Overload

- Identifikasi saluran/transformator yang overload
- Rekonfigurasi jaringan untuk menghindari overload

2 Formulasi Masalah Aliran Daya

2.1 Model Bus dalam Sistem Tenaga

Setiap bus dalam sistem tenaga memiliki 4 variabel:

1. $|V_i|$: Magnitude tegangan bus i (pu atau kV)
2. δ_i : Sudut fasa tegangan bus i (derajat atau radian)
3. P_i : Injeksi daya aktif di bus i (MW atau pu)
4. Q_i : Injeksi daya reaktif di bus i (MVar atau pu)

Konvensi tanda:

- $P_i > 0$: Bus adalah generator (injeksi daya ke sistem)
- $P_i < 0$: Bus adalah beban (menyerap daya dari sistem)
- $Q_i > 0$: Injeksi daya reaktif (leading/kapasitif)
- $Q_i < 0$: Penyerapan daya reaktif (lagging/induktif)

2.2 Klasifikasi Bus

Karena setiap bus memiliki 4 variabel tetapi hanya 2 persamaan (P_i dan Q_i), kita harus menentukan 2 variabel dan mencari 2 variabel lainnya. Berdasarkan ini, bus diklasifikasikan menjadi 3 tipe:

Tipe Bus	Diketahui	Dicari
Slack	$ V , \delta$	P, Q
PV	$P, V $	Q, δ
PQ	P, Q	$ V , \delta$

Tips: Slack bus menyediakan referensi sudut dan menyeimbangkan rugi-rugi sistem!



3 Metode Newton-Raphson

3.1 Konsep Dasar

Metode Newton-Raphson menggunakan linearisasi deret Taylor orde pertama untuk menyelesaikan sistem persamaan non-linear.

Untuk fungsi $f(x) = 0$, iterasi Newton-Raphson:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \quad (1)$$

Untuk sistem multi-variabel $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$:

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} - [J(\mathbf{x}^{(k)})]^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}^{(k)}) \quad (2)$$

di mana J adalah matriks Jacobian.

3.2 Aplikasi pada Aliran Daya

Untuk setiap iterasi k , hitung perbedaan (mismatch) antara daya yang dispesifikasi dan daya yang dikalkulasi:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{spec} - P_i^{calc}(V^{(k)}, \delta^{(k)}) \quad (3)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{spec} - Q_i^{calc}(V^{(k)}, \delta^{(k)}) \quad (4)$$

Linearisasi menggunakan deret Taylor:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (5)$$

3.3 Karakteristik Metode Newton-Raphson

3.3.1 Keunggulan

1. Konvergensi Kuadratik:

- Error berkurang secara kuadratik setiap iterasi
- Biasanya hanya 3-5 iterasi untuk konvergensi

2. Tidak Sensitif terhadap Ukuran Sistem:

- Jumlah iterasi relatif konstan untuk sistem kecil maupun besar

3. Metode Standar Industri:

- Digunakan oleh hampir semua software power system komersial



3.3.2 Keterbatasan

1. **Kompleksitas Komputasi per Iterasi Tinggi:**

- Harus menghitung semua elemen Jacobian setiap iterasi

2. **Kebutuhan Memori Besar:**

- Harus menyimpan matriks Jacobian $2n \times 2n$

3. **Dapat Divergen dengan Starting Point Buruk:**

- Jika tebakan awal terlalu jauh dari solusi

4 Metode Gauss-Seidel

4.1 Konsep Dasar

Metode Gauss-Seidel adalah metode iteratif sederhana yang menghitung variabel satu per satu secara sekuensial, menggunakan nilai terbaru yang sudah dihitung.

Dari persamaan:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \quad (6)$$

Isolasi V_i :

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{k=1, k \neq i}^n Y_{ik} V_k \right] \quad (7)$$

4.2 Karakteristik Metode Gauss-Seidel

4.2.1 Keunggulan

1. **Implementasi Sederhana:**

- Tidak perlu menghitung Jacobian
- Tidak perlu menyelesaikan sistem linear

2. **Kebutuhan Memori Kecil:**

- Hanya perlu menyimpan Y_{bus} dan vektor tegangan

3. **Baik untuk Pembelajaran:**

- Konsep mudah dipahami



4.2.2 Keterbatasan

1. Konvergensi Linear (Lambat):

- Bisa memerlukan 20-100 iterasi atau lebih

2. Sangat Sensitif terhadap Ukuran Sistem:

- Jumlah iterasi bertambah signifikan untuk sistem besar

3. Jarang Digunakan dalam Praktik:

- Tidak competitive untuk sistem nyata

5 Perbandingan Metode

Aspek	Newton-Raphson	Gauss-Seidel
Jumlah iterasi	3-5	20-100+
Tipe konvergensi	Kuadratik	Linear
Kompleksitas per iterasi	$\mathcal{O}(n^{1.5-3})$	$\mathcal{O}(n^2)$
Total waktu komputasi	Fast	Slow
Kebutuhan memori	Besar	Kecil
Implementasi	Kompleks	Sederhana
Sistem besar (>100 bus)	Excellent	Poor
Aplikasi industri	Ya, standar	Tidak
Aplikasi akademis	Ya	Ya

Table 1: Perbandingan Newton-Raphson vs Gauss-Seidel

Rekomendasi Praktis:

- **Newton-Raphson:** untuk semua aplikasi praktis dan industri
- **Gauss-Seidel:** hanya untuk pembelajaran konsep atau sistem sangat kecil

6 Aplikasi GNU Octave dan MATPOWER

6.1 Pengenalan MATPOWER

MATPOWER adalah paket open-source untuk simulasi dan optimasi sistem tenaga listrik, dikembangkan oleh Cornell University.

Fitur utama:

- Power flow (Newton, Gauss-Seidel, Fast-Decoupled, DC)
- Optimal Power Flow (OPF)
- Continuation Power Flow (CPF) untuk voltage stability
- Library sistem test (IEEE 9, 14, 30, 57, 118, 300 bus, dll.)



- Kompatibel dengan MATLAB dan GNU Octave
- Gratis dan open-source

Website: <https://matpower.org>

6.2 Menjalankan Power Flow

Listing 1: Basic Power Flow

```
1 % Load sistem IEEE 9-bus
2 mpc = loadcase('case9');
3
4 % Jalankan power flow (default: Newton-Raphson)
5 results = runpf(mpc);
6
7 % Tampilkan hasil secara lengkap
8 printpf(results);
9
10 % Atau akses data spesifik
11 V_mag = results.bus(:,8);      % Voltage magnitude
12 V_ang = results.bus(:,9);      % Voltage angle
13 P_gen = results.gen(:,2);      % Generator real power
14 Q_gen = results.gen(:,3);      % Generator reactive power
```

7 Problem Set: Power Flow Analysis

This problem set contains questions at various cognitive levels (C1-C6) based on Bloom's Taxonomy. Answer all questions to demonstrate your understanding of power flow analysis concepts.

- **C1 (Remember):** Recall facts and basic concepts
- **C2 (Understand):** Explain ideas or concepts
- **C3 (Apply):** Use information in new situations
- **C4 (Analyze):** Draw connections and distinguish between parts
- **C5 (Evaluate):** Justify decisions or conclusions
- **C6 (Create):** Produce new or original work

7.1 C1: Remember (Knowledge)

Question 1: What are the three types of buses in power flow analysis?

Question 2: Write down the formula for calculating power mismatch in Newton-Raphson method.



Question 3: What is the main advantage of Newton-Raphson method over Gauss-Seidel?

7.2 C2: Understand (Comprehension)

Question 4: Explain the difference between Newton-Raphson and Gauss-Seidel methods for power flow analysis. Why is Newton-Raphson preferred for practical applications?

Question 5: Explain why we need a slack bus in power flow analysis and what role it plays in the system.

7.3 C3: Apply (Application)

Question 6: For a 4-bus system with bus 1 as slack ($1.0\angle 0^\circ$), bus 2 as PV (1.05 pu, 200 MW), bus 3 as PQ ($150+j75$ MVA), and bus 4 as PQ ($100+j50$ MVA), identify all known and unknown variables in the power flow problem.

Question 7: Write the pseudocode for the Newton-Raphson power flow algorithm. Include the main steps from initialization to convergence check.



7.4 C4: Analyze (Analysis)

Question 8: Analyze the following power system scenario: A utility company needs to add a new 200 MW generator at bus 3 in a 14-bus system. Using power flow analysis, describe step-by-step how you would evaluate the impact of this addition on voltage profiles and line loadings.

Question 9: Compare computational requirements of Newton-Raphson versus Gauss-Seidel for solving power flow in a 1000-bus system. What factors would influence your choice of method for real-time applications?

7.5 C5: Evaluate (Evaluation)

Question 10: Evaluate the importance of power flow analysis for renewable energy integration in modern power grids. Consider the following criteria:

- Accuracy of results
- Computational requirements
- Impact on system stability
- Adaptability to variable generation

Question 11: A power system has experienced voltage collapse during peak load conditions. Two engineers propose different solutions: Engineer A suggests adding more



generation, while Engineer B recommends installing reactive power compensation. Evaluate both proposals using power flow analysis principles and justify your recommendation.

7.6 C6: Create (Synthesis/Creation)

Question 12: Design a comprehensive power flow analysis workflow that could be implemented in a control room environment for real-time system monitoring. Your design should include:

- Input data requirements and validation
- Solution method and convergence criteria
- Output visualization and alarming
- Contingency analysis integration
- Decision support features

Question 13: Create a detailed tutorial guide (step-by-step instructions) for implementing a basic power flow solver using Newton-Raphson method in MATLAB/Octave. Your tutorial should:

- List all functions needed with their purposes
- Provide the main algorithm structure
- Include code structure for calculating power mismatches
- Show how to form and solve the Jacobian matrix
- Address convergence checking and error handling



- Include an example with a 3-bus system

8 Real-World Case Study

Scenario: Sumatra Grid Integration

An electrical engineer at PLN needs to analyze the impact of adding renewable generation to the Sumatra grid system.

Using Power Flow Analysis:

1. **Baseline Analysis:** Determine current system operating conditions
2. **Renewable Integration:** Model addition of solar and wind farms
3. **Voltage Impact Assessment:** Check for voltage rise issues
4. **System Capacity Evaluation:** Assess available capacity for additional generation

Power flow analysis provides the foundation for informed decision-making in grid modernization!

9 Kesimpulan

9.1 Rangkuman Poin Kunci

1. **Analisis aliran daya** adalah tool fundamental untuk studi sistem tenaga, menghitung kondisi steady-state sistem.
2. **Tiga tipe bus:** Slack (referensi), PV (generator), PQ (load), masing-masing dengan 2 variabel diketahui dan 2 dicari.
3. **Persamaan aliran daya non-linear** memerlukan metode iteratif numerik untuk solusi.
4. **Newton-Raphson:**
 - Konvergensi kuadratik (sangat cepat: 3-5 iterasi)



- Metode standar industri

5. **Gauss-Seidel:**

- Konvergensi linear (lambat)
- Hanya untuk pembelajaran atau sistem sangat kecil

6. **MATPOWER** adalah tool powerful untuk simulasi praktis sistem nyata.

Pro Tips: Power flow analysis is the foundation for all advanced power system studies!
--