

PERBANDINGAN METODE GAUSS-SEIDEL, METODE NEWTON RAPHSON DAN METODE FAST DECOUPLED DALAM SOLUSI ALIRAN DAYA

Makalah Tugas Akhir

Disusun Oleh :
DWI SULISTIYONO
L2F 399 387

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak

Untuk menyelesaikan studi aliran daya dengan metode iterasi (numerik) telah banyak dikembangkan dengan menggunakan komputer digital. Berbagai metode penyelesaian studi aliran daya telah semakin banyak dikembangkan sejalan dengan makin berkembangnya konfigurasi jaringan sistem tenaga, baik dalam perencanaan, pengembangan, maupun pengoperasian. Sampai saat ini beberapa metode yang sering dipelajari adalah Metode Gauss Seidel, Metode Newton Raphson, Metode Decoupled, dan Metode Fast Decoupled. Masing-masing metode untuk analisa aliran daya mempunyai kekurangan dan kelebihan satu sama lain.

Dalam Tugas Akhir ini penulis akan membandingkan keandalan antara metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled dalam menyelesaikan masalah aliran daya untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing metode. Dengan menguasai ketiga metode tersebut, setiap masalah aliran daya dapat diselesaikan dengan efektif, apabila mampu menentukan yang mana diantara ketiga metode tersebut yang paling sesuai terhadap sistem yang dihadapi.

Hasil perhitungan ketiga metode dituangkan dalam perangkat lunak (program simulasi), program komputer yang digunakan untuk simulasi adalah bahasa pemrograman MATLAB versi 5.3 sebagai Computing program (program perhitungan). Microsoft Excell 2000 sebagai server sekaligus database dan Delphi versi 6 yang mengintegrasikan keduanya dalam suatu tampilan visual.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Untuk menunjang bertambahnya permintaan energi listrik harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik yang disalurkan. Dengan melakukan suatu analisa terhadap sistem tenaga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas energi listrik, dikarenakan analisa sistem tenaga mencakup beberapa permasalahan utama dalam sistem tenaga yaitu aliran beban, hubung singkat, stabilitas dan pengaman. Keempat masalah tersebut adalah faktor penting untuk meningkatkan kualitas energi listrik yang disalurkan.

Untuk menyelesaikan studi aliran daya dengan metode iterasi (numerik) telah banyak dikembangkan dengan menggunakan komputer digital. Berbagai metode penyelesaian studi aliran daya telah semakin banyak dikembangkan sejalan dengan makin berkembangnya konfigurasi jaringan sistem tenaga, baik dalam perencanaan, pengembangan, maupun pengoperasian. Sampai saat ini beberapa metode yang sering dipelajari adalah Metode Gauss Seidel, Metode Newton Raphson, Metode Decoupled, dan Metode Fast Decoupled. Masing-masing

metode untuk analisa aliran daya mempunyai kekurangan dan kelebihan satu sama lain.

Dalam Tugas Akhir ini penulis akan membandingkan keandalan antara metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled dalam menyelesaikan masalah aliran daya untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing metode.

1.2. Tujuan

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini, adalah untuk :

1. Untuk mengetahui akan kelebihan dan kekurangan antara metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled sehingga bisa menentukan metode mana yang lebih baik dalam penyelesaian masalah analisa aliran daya.
2. Membuat suatu perangkat lunak yang dapat membantu dalam menyelesaikan masalah perbandingan metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled agar mudah dalam penganalisaan.

1.3. Pembatasan Masalah

Tugas Akhir ini memiliki pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Dalam menguji kebenaran program menggunakan data model sistem IEEE 5 bus 7 saluran, model sistem IEEE 14 bus 20 saluran dan model sistem IEEE 30 bus 41 saluran.
2. Representasi saluran transmisi hanya menggunakan rangkaian pengganti nominal π .
3. Analisa dilakukan terhadap salah satu fasa.
4. Kondisi sistem dianggap stabil (*balance system*).

II. DASAR TEORI

2.1. Representasi Komponen Sistem Tenaga

Dalam penganalisaan sistem tenaga listrik dibuat representasi permodelan terhadap komponen-komponen sistem tenaga tersebut seperti generator, transformator, gardu induk, saluran transmisi, kapasitor shunt, induktor dan beban. Dengan menganggap bahwa sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang, penyelesaian rangkaian dapat dikerjakan dengan menggunakan rangkaian satu fasa. Diagram satu garis ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran yang ringkas dari suatu sistem tenaga listrik.

Jenis Bus dan Besaran-Besaran

Untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya pada setiap simpul perlu diketahui 2 buah parameter, tergantung pada parameter-parameter yang diketahui, maka setiap simpul di sistem diklasifikasikan dalam 3 kategori, yaitu :

1. Simpul beban (simpul atau bus PQ):
Parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter yang tidak diketahui adalah V dan δ .
2. Simpul kontrol (generator bus atau simpul PV):
Parameter yang diketahui adalah P dan V, sedangkan parameter yang tidak diketahui adalah δ dan Q.
3. Simpul ayun (*swing* atau *slack bus/reference bus*):
Parameter yang diketahui adalah V dan δ , sedangkan parameter yang tidak diketahui adalah P dan Q.

2.3. Persamaan Pembebanan Bus

Daya nyata dan reaktif pada suatu bus i mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$P_i - j Q_i = V_i * I_i \quad (2.1)$$

dan arus pada bus I adalah :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i * } \quad (2.2)$$

I_i akan bertanda positif bila arus mengalir menuju ke bus i dan akan bertanda negatif bila arus mengalir keluar dari bus i .

2.4. Persamaan Aliran Daya Umum

Dengan diperolehnya tegangan-tegangan pada tiap bus maka dapat dihitung besarnya aliran daya antara bus-bus yang terhubung. Besarnya arus yang mengalir dari bus i ke bus j adalah :

$$i_{ij} = (V_i - V_j) y_{ij} + V_i \frac{y_{ij}'}{2} \quad (2.3)$$

dimana : y_{ij} = admitansi kawat $i - j$
 y_{ij}' = admitansi shunt kawat $i - j$

$V_i \frac{y_{ij}'}{2}$ = kontribusi arus pada bus i oleh arus shunt

Dengan diketahuinya arus yang mengalir dari bus i ke bus j maka dapat dihitung besarnya aliran daya yang mengalir dari bus i ke bus j .

$$P_{ij} - j Q_{ij} = V_i * i_{ij}$$

$$P_{ij} - j Q_{ij} = V_i * [(V_i - V_j) y_{ij} + V_i \frac{y_{ij}'}{2}]$$

$$P_{ij} - j Q_{ij} = V_i * (V_i - V_j) y_{ij} + V_i * V_i \frac{y_{ij}'}{2} \quad (2.4)$$

Sedangkan aliran daya yang mengalir dari bus j ke bus i adalah :

$$P_{ji} - j Q_{ji} = V_j * (V_j - V_i) y_{ij} + V_j * V_j \frac{y_{ij}'}{2} \quad (2.5)$$

Dengan menjumlahkan secara aljabar antara persamaan (2.4) dan persamaan (2.5) maka didapat rugi-rugi pada saluran kawat transmisi $i - j$.

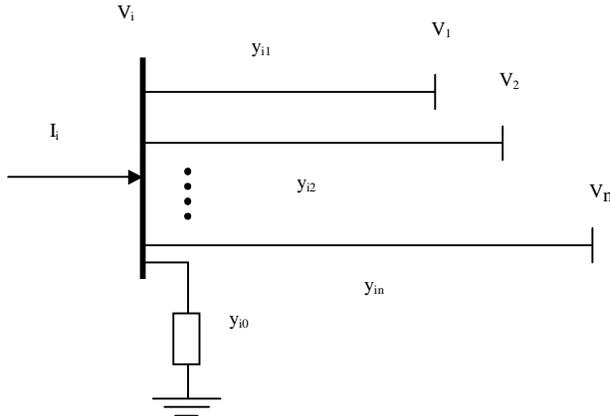
III. PENGGUNAAN METODE GAUSS-SEIDEL, METODE NEWTON RAPHSON, METODE FAST DECOUPLED DALAM STUDI ALIRAN DAYA

3.1. Metode Dasar Pemecahan Studi Aliran Daya

Untuk menyelesaikan masalah aliran daya telah digunakan berbagai metode, cara yang paling sering digunakan sebagai salah satu materi dasar studi aliran daya adalah dengan membentuk matriks admitansi (Y) bus. Selanjutnya matriks tersebut dikerjakan dengan iterasi Gauss, Gauss-Seidel, Newton Rhapsion,

Decoupled atau Fast Decoupled. Metode dasar yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah metode Gauss-Seidel, Newton Rhapson, dan Decoupled.

3.1.1. Metode Gauss-Seidel



Gambar 3.1. Tipe bus pada sistem tenaga

Aplikasi hasil bus ini adalah

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (3.1)$$

Daya nyata dan reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (3.2)$$

$$I_i^* = \frac{P_i + jQ_i}{V_i}, \quad \text{persamaan ini}$$

dikonjugatekan menjadi,

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (3.3)$$

mensubstitusikan persamaan (3.2) dengan persamaan (3.1) hasilnya,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (3.4)$$

Dari hubungan diatas, hasilnya harus dipecahkan oleh *teknik iterasi*. Persamaan (3.4) dipecahkan untuk V_i .

Persamaan aliran daya biasanya ditulis dalam istilah elemen matrik admitansi bus. Sejak itu elemen diagonal-off pada matrik admitansi bus Y_{bus} , ditunjukkan oleh persamaan diatas, yaitu $Y_{ij} = -y_{ij}$, dan elemen diagonal adalah $Y_{ii} = \sum y_{ij}$, persamaan menjadi,

$$V_i^{(k+1)} = \frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)} \quad (3.5)$$

dan

$$P_i^{(k+1)} = \Re \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (3.6)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\Im \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (3.7)$$

Untuk generator bus (bus P-V) dimana P_i^{sch} dan $|V_i|$ adalah ditentukan, persamaan (3.7) ditentukan untuk $Q_i^{(k+1)}$. Untuk mendapatkan $V_i^{(k+1)}$ ditentukan dengan menggunakan persamaan,

$$(e_i^{(k+1)})^2 + (f_i^{(k+1)})^2 = |V_i|^2 \quad (3.8)$$

atau

$$e_i^{(k+1)} = \sqrt{|V_i|^2 - (f_i^{(k+1)})^2} \quad (3.9)$$

dimana $e_i^{(k+1)}$ dan $f_i^{(k+1)}$ adalah komponen real dan imajiner tegangan $V_i^{(k+1)}$ pada iterasi berikutnya. Kecepatan konvergensi dapat ditambahkan oleh aplikasi faktor ketelitian pada iterasi berikutnya yaitu

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \alpha (V_{ical} - V_i^{(k)}) \quad (3.10)$$

dimana

α = faktor kecepatan.

V_{ical} = Tegangan yang dihitung (*calculated*)

$$\left| e_i^{(k+1)} - e_i^{(k)} \right| \leq \epsilon \quad (3.11)$$

$$\left| f_i^{(k+1)} - f_i^{(k)} \right| \leq \epsilon \quad (3.12)$$

Iterasi dilanjutkan sampai magnitudo elemen dalam kolom ΔP dan ΔQ adalah lebih kecil dari nilai spesifik. Tipe daya tak sebanding ketelitiannya adalah 0.001 pu.

Ketika solusi konvergen, daya aktif dan reaktif pada slack bus dihitung.

3.1.2. Metode Newton Raphson

Dasar dari metode Newton Raphson dalam penyelesaian aliran daya adalah deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variable lebih. Metode Newton Rhapsion menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus.

Daya injeksi pada bus i adalah :

$$P_i - j Q_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (3.13)$$

Dalam hal ini dilakukan pemisahan daya nyata dan daya reaktif pada bus i. Pemisahan ini akan menghasilkan suatu set persamaan simultan non linear.

Dalam koordinat kutub diketahui :

$$|V_i| \angle \delta_i = |V_i| e^{j\delta_i}$$

$$|V_j| \angle \delta_j = |V_j| e^{j\delta_j}$$

$$|Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| e^{j\theta_{ij}}$$

Karena $e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})} = \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) + j \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$, maka pemisahan daya pada bus i menjadi komponen real dan imajiner adalah :

$$P_i - j Q_i = |V_i| \angle -\delta_i \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle \theta_{ij} + \delta_j =$$

$$|V_i| e^{-j\delta_i} \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j (e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})})$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (3.14)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (3.15)$$

Nilai P_i dan Q_i telah diketahui, tetapi nilai V_i dan δ_i tidak diketahui kecuali pada slack bus. Kedua persamaan non linier tersebut dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan simultan linier dengan cara menyatakan hubungan antara perubahan daya nyata ΔP_i dan daya reaktif ΔQ_i terhadap perubahan magnitude tegangan ΔV_i dan sudut fasa tegangan $\Delta \delta_i$.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Elemen – elemen matriks Jacobi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan daya nyata dan reaktif pada bus i dari persamaan (3.14) dan (3.15) yang diturunkan sebagai berikut : ($i = 1, 2, \dots, n-1$)
Elemen-elemen off-diagonal dari J_1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (3.17)$$

Elemen diagonal dari J_1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (3.18)$$

Elemen off-diagonal dari J_2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (3.19)$$

Elemen diagonal dari J_2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (3.20)$$

Elemen off-diagonal dari J_3 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (3.21)$$

Elemen diagonal dari J_3 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (3.22)$$

Elemen-elemen off-diagonal dari J_4 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = -|V_i Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (3.23)$$

Elemen diagonal dari J_4 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (3.24)$$

Elemen-elemen matriks Jacobi dihitung setiap akan melakukan iterasi.

Perhitungan iterasi dimulai dengan memberikan perkiraan magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan mula-mula. Perubahan-perubahan dalam daya nyata dan daya reaktif yang telah dijadwalkan dikurangi dengan daya nyata dan daya reaktif yang dihitung dari persamaan (3.17) sampai (3.24)

$$\begin{aligned} \Delta P_i^k &= P_{i(\text{terjadwal})} - P_i^k \\ \Delta Q_i^k &= Q_{i(\text{terjadwal})} - Q_i^k \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Elemen-elemen matriks Jacobi dihitung dengan menggunakan magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan estimasi mula-mula. Dengan menggunakan metode invers langsung maka persamaan linier (3.16) dapat dipecahkan untuk mendapatkan nilai-nilai magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan estimasi yang baru pada tiap bus (kecuali slack bus), sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

Proses iterasi kembali lagi ke proses awal dan hal ini terus diulangi sampai ΔP_i^k dan ΔQ_i^k untuk semua bus (selain slack bus) memenuhi harga toleransi yang diberikan (biasanya diambil ≤ 0.001).

$$\begin{aligned} \delta_i^{k+1} &= \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \\ |V_i|^{k+1} &= |V_i|^k + \Delta |V_i|^k \end{aligned} \quad (3.26)$$

Jadi iterasi selesai bila,

$$\begin{aligned} \Delta \delta_i^k &\leq 0.001 \\ \Delta |V_i|^k &\leq 0.001 \end{aligned}$$

3.1.3. Metode Fast Decoupled

Karakteristik yang menarik dari pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi tunak adalah ketergantungan antara daya nyata dengan sudut fasa tegangan bus dan antara daya reaktif dengan magnitudo tegangan bus. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada magnitudo tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya nyata. Sedangkan perubahan kecil pada sudut tegangan fasa tidak akan menyebabkan perubahan berarti pada daya reaktif.

Ini dapat dibuktikan pada pendekatan-pendekatan dilakukan untuk menyatakan keterkaitan antara P dan δ serta antara Q dan V. Dengan menggunakan bentuk koordinat kutub maka solusi permasalahan diperoleh yaitu dengan cara mengasumsikan elemen-elemen sub matriks J_2 dan J_3 dalam matriks Jacobi adalah nol.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

$$\Delta P = J_1 \Delta \delta = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta \delta \quad (3.28)$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta |V| = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|} \right] \Delta |V| \quad (3.29)$$

dipersamaan diatas dapat dilihat bahwa apabila pada pembentukan daya aktif faktor yang menentukan adalah sudut tegangan jadi adanya perubahan pada magnitudo tegangan tidak mempengaruhi daya aktif. Kondisi sebaliknya diperuntukkan pada persamaan pembentukan daya reaktif yaitu perubahan kecil pada sudut fasa tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya reaktif.

Elemen-elemen matriks Jacobi yang diturunkan dari persamaan (2.17) sampai (2.24) adalah :

Untuk J_1 :

$$\begin{aligned} H_{ij} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \\ &= -|V_i V_j| \sin(\delta_j - \delta_i) \cdot B_{ij} \end{aligned} \quad (3.30)$$

$$\begin{aligned} H_{ii} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i V_i Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \\ &= -|V_i|^2 \cdot B_{ii} - Q_i \end{aligned} \quad (3.31)$$

dimana,

$$\begin{aligned} B_{ij} &= Y_{ij} \sin \theta_{ij} \\ B_{ii} &= Y_{ii} \sin \theta_{ii} \end{aligned}$$

$$Q_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \text{ dapat}$$

dilihat dari persamaan (2.15)

Untuk J_2 :

$$N_{ij} \approx 0$$

$$N_{ii} \approx 0$$

Untuk J_3 :

$$J_{ij} \approx 0$$

$$J_{ii} \approx 0$$

Untuk J_4 :

$$L_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

$$= -|V_i V_j| \sin(\delta_j - \delta_i) \cdot B_{ij} \quad (3.32)$$

$$L_{ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j=1, j \neq i}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + Q_i \\ &= \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i|^2 \cdot B_{ii} + Q_i \end{aligned} \quad (3.33)$$

dimana,

$$B_{ij} = Y_{ij} \sin \theta_{ij}$$

$$B_{ii} = Y_{ii} \sin \theta_{ii}$$

$$Q_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij}) \quad \text{dapat}$$

dilihat dari persamaan (2.15)

Dalam bentuk matriks, lambang elemen matriks Jacobi dikoreksi menjadi:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

atau dalam format iterasi dapat kita tulis :

$$\Delta P^k = H^k \cdot \Delta \delta^{k+1} \quad (3.35)$$

$$\Delta Q^k = L^k \cdot \Delta V^{k+1} \quad (3.36)$$

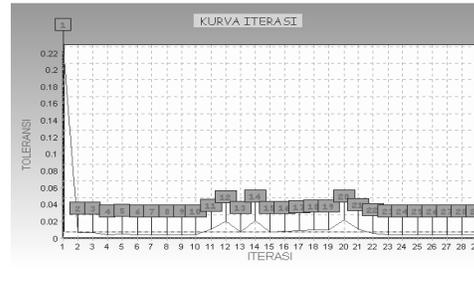
Metode Decoupled ini mempunyai konvergensi yang sama dengan metode Newton Raphson. Keuntungan yang dimiliki oleh metode ini adalah penggunaan memori komputer yang lebih kecil karena mengabaikan sub matriks N dan J (atau J2 dan J3).

IV. PENGUJIAN

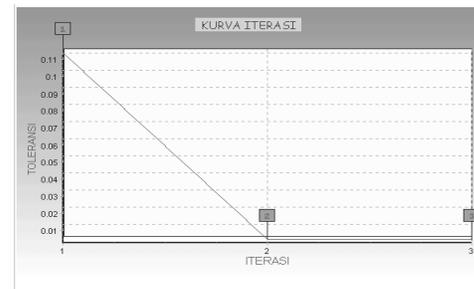
4.1. Teknik Pengujian

Untuk menguji ketiga metode, penulis menggunakan data standar IEEE 5 Bus 7 Saluran, 14 Bus 20 Saluran dan 30 Bus 41 Saluran. Selanjutnya, kondisi konvergensi dan hasil perhitungan yang lain dari metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson dan metode Fast Decoupled kemudian diamati. Proses iterasi ditentukan oleh kriteria konvergensi ϵ , dan dihentikan bila ketelitian dayanya $\leq \epsilon$, ($\epsilon=0.001$). Juga membandingkan Rugi-rugi daya total yang dihasilkan ketiga metode.

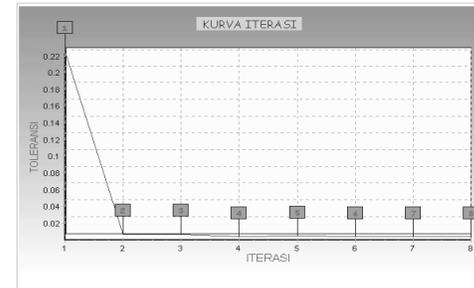
4.1.1. Hasil Pengujian Sistem IEEE 5 BUS 7 SALURAN



Gambar 4.1. Kurva Konvergensi Metode Gauss-Seidel pada IEEE 5 Bus 7 Saluran



Gambar 4.2. Kurva Konvergensi Metode Newton Raphson pada IEEE 5 Bus 7 Saluran



Gambar 4.3. Kurva Konvergensi Metode Fast Decoupled pada IEEE 5 Bus 7 Saluran

4.1.2. Hasil Perhitungan Magnitude Tegangan dan Sudut Phasa Tegangan

Tabel 4.1. Tegangan Hasil Iterasi Jaringan Standar IEEE 5 Bus 7 Saluran Dengan Metode Gauss Seidel

Bus No.	Tegangan Mag. (pu)	Tegangan Sudut (°)
1	1.060	0.000
2	1.000	-2.063
3	0.987	-4.639
4	0.984	-4.960
5	0.972	-5.765

Tabel 4.2. Tegangan Hasil Iterasi Jaringan Standar IEEE 5 Bus 7 Saluran Dengan Metode Newton Raphson

Bus No.	Tegangan Mag. (pu)	Tegangan Sudut (°)
1	1.060	0.000
2	1.000	-2.061
3	0.987	-4.637
4	0.984	-4.957
5	0.972	-5.765

Tabel 4.3. Tegangan Hasil Iterasi Jaringan Standar IEEE 5 Bus 7 Saluran Dengan Metode Fast Decoupled

Bus No.	Tegangan Mag. (pu)	Tegangan Sudut (°)
1	1.060	0.000
2	1.000	-2.061
3	0.987	-4.636
4	0.984	-4.957
5	0.972	-5.765

4.1.3. Jumlah Iterasi dan Maximum Error

Tabel 4.4. Jumlah Iterasi dan Maximum Error Metode Gauss-Seidel

Model Jaringan	Iterasi	Max. Error
5 Bus 7 Saluran	29	0.000513654
14 Bus 20 Saluran	195	0.00092276
30 Bus 41 Saluran	34	0.000951884

Tabel 4.5. Jumlah Iterasi dan Maximum Error Metode Newton Raphson

Model Jaringan	Iterasi	Max. Error
5 Bus 7 Saluran	3	0.0000781261
14 Bus 20 Saluran	9	0.000515237
30 Bus 41 Saluran	4	0.000000754898

Tabel 4.6. Jumlah Iterasi dan Maximum Error Metode Fast Decoupled

Model Jaringan	Iterasi	Max. Error
5 Bus 7 Saluran	8	0.000265769
14 Bus 20 Saluran	26	0.000868316
30 Bus 41 Saluran	15	0.000919582

4.1.4. Total Daya Keluaran

Tabel 4.7. Total Daya Keluaran Metode Gauss-Seidel

Model Jaringan	Total Daya (MW)	Total Daya (MVAR)
5 Bus 7 Saluran	171.141	29.139
14 Bus 20 Saluran	272.559	108.168
30 Bus 41 Saluran	300.950	125.089

Tabel 4.8. Total Daya Keluaran Metode Newton Raphson

Model Jaringan	Total Daya (MW)	Total Daya (MVAR)
5 Bus 7 Saluran	171.114	29.208
14 Bus 20 Saluran	272.490	107.701
30 Bus 41 Saluran	300.998	125.144

Tabel 4.9. Total Daya Keluaran Metode Fast Decoupled

Model Jaringan	Total Daya (MW)	Total Daya (MVAR)
5 Bus 7 Saluran	171.125	29.285
14 Bus 20 Saluran	272.428	107.889
30 Bus 41 Saluran	300.998	125.145

4.1.5. Total Rugi-rugi Daya

Tabel 4.10 Total Rugi-rugi Daya Metode Gauss-Seidel

Model Jaringan	Rugi Daya (MW)	Rugi Daya (MVAR)
5 Bus 7 Saluran	6.125	-10.768
14 Bus 20 Saluran	13.604	26.975
30 Bus 41 Saluran	17.594	22.233

Tabel 4.11. Total Rugi-rugi Daya Metode Newton Raphson

Model Jaringan	Rugi Daya (MW)	Rugi Daya (MVAR)
5 Bus 7 Saluran	6.122	-10.777
14 Bus 20 Saluran	13.737	26.707
30 Bus 41 Saluran	17.599	22.244

Tabel 4.12. Total Rugi-rugi Daya Metode Fast Decoupled

Model Jaringan	Rugi Daya (MW)	Rugi Daya (MVAR)
5 Bus 7 Saluran	6.122	-10.779
14 Bus 20 Saluran	13.628	26.856
30 Bus 41 Saluran	17.598	22.245

4.2. Analisa

Pada hasil perhitungan magnitudo tegangan dan sudut fasa pada tabel diatas hasilnya pada metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson dan Fast Decoupled hampir mendekati sama ini membuktikan bahwa ketiga metode ketelitiannya hampir sama. Selain itu semua tegangan bus dan sudut fasa tegangan masih dalam batas variasi yang ditentukan yakni dibawah toleransi $\pm 5\%$.

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa jumlah iterasi dari model jaringan 5 Bus 7 Saluran, 14 Bus 20 Saluran dan 30 Bus 41 Saluran metode Gauss-Seidel lebih banyak dibanding metode Newton Raphson dan metode Fast Decoupled, ini membuktikan bahwa metode Newton Raphson dan Fast Decoupled mempunyai kurva iterasi yang lebih baik daripada metode Gauss-Seidel. Pada metode Gauss Seidel jumlah iterasi pada model jaringan 14 Bus 20 saluran dan 30 Bus 41 saluran menghasilkan iterasi 195 dan 34 untuk 5 Bus 7 saluran menghasilkan 29, sehingga dapat dianalisa bahwa untuk metode Gauss-Seidel ini lebih cocok untuk jaringan yang sedikit busnya, sedangkan untuk metode Newton Raphson dan Fast Decoupled lebih stabil untuk mencapai konvergen sehingga cocok untuk bus yang sedikit maupun banyak. Untuk metode Fast Decoupled jumlah iterasinya

lebih banyak dibandingkan metode Newton Raphson. Pada metode Fast decoupled iterasinya lebih banyak dibandingkan metode Newton Raphson dikarenakan pada pembentukan elemen matrik Jacobian pada metode Newton Raphson di persamaan

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \text{membutuhkan}$$

waktu pemecahan matematik yang lama dibandingkan pada persamaan

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \text{ dari metode Fast}$$

Decoupled dikarenakan metode Fast Decoupled menghilangkan elemen matrik J_2 dan J_3 sehingga membutuhkan waktu pemecahan matematis lebih cepat. Mengakibatkan waktu per iterasi metode Fast Decoupled lebih cepat dibanding metode Newton Raphson dan otomatis menghasilkan jumlah iterasi yang banyak. Untuk metode Newton Raphson dengan metode Gauss-Seidel jumlah iterasi metode Gauss-Seidel lebih banyak dikarenakan pada pemecahan persamaan aljabar non linier pada metode Newton Raphson menggunakan kuadratis konvergen untuk proses iterasi ini memberikan keuntungan untuk masalah konvergensi. Metode Newton Raphson lebih cepat konvergen dibanding metode Gauss-Seidel masalahnya metode Gauss-Seidel tidak menggunakan metode kuadratis konvergen.

Untuk toleransi simpangan daya maksimum (*maximum error*) pada model jaringan 5 Bus 7 saluran metode Gauss-Seidel menghasilkan maximum error lebih besar dibanding metode Newton Raphson dan Fast Decoupled yaitu 0.000513654 dan untuk metode Newton Raphson menghasilkan 0.0000781261 sedang metode Fast Decoupled menghasilkan 0.000265769. Ini membuktikan bahwa ketelitian dari metode Newton Raphson dan Fast Decoupled lebih baik dari pada metode Gauss-Seidel. Untuk hasil dari model jaringan 14 Bus 20 Saluran dan 30 Bus 41 Saluran hampir sama dengan model 5 Bus 7 Saluran metode Newton Raphson lebih unggul dibandingkan metode Gauss-Seidel dan metode Fast Decoupled.

Pada total daya ini hasil perhitungan yang diperoleh relatif hampir sama untuk daya aktif dan daya reaktif, perbedaan mulai terjadi pada angka desimal ketiga. Perbedaan tersebut masih cukup kecil atau dibawah toleransi $\pm 5\%$, sehingga dapat dinyatakan ketiga metode menunjukkan ketelitian yang sama.

Untuk masalah rugi-rugi daya saluran pada ketiga metode hasilnya pada model jaringan 5 Bus 7 Saluran, 14 Bus 20 Saluran dan 30 Bus 41 Saluran, rugi-ruginya hampir mendekati sama. Melihat hasil perhitungan rugi-rugi daya tersebut untuk ketiga metode hasilnya mendekati sama berarti ketelitian untuk perhitungan rugi-rugi daya hampir sama ketelitiannya.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian simulasi dan analisa terhadap data-data yang ada dapat penulis ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Jumlah iterasi untuk mencapai konvergen, metode Gauss-Seidel (29 Iterasi untuk jaringan 5 Bus 7 Saluran) lebih banyak dibandingkan metode Newton Raphson (3 Iterasi untuk jaringan 5 Bus 7 Saluran) dan metode Fast Decoupled (8 Iterasi untuk jaringan 5 Bus 7 Saluran). Ini membuktikan bahwa metode Newton Raphson dan metode Fast Decoupled mempunyai kurva iterasi yang lebih baik daripada metode Gauss Seidel.
2. Untuk masalah rugi-rugi daya saluran pada ketiga metode hasilnya hampir mendekati sama berarti ketelitian untuk perhitungan rugi-rugi daya hampir sama ketelitiannya.
3. Operasi matematik metode Newton Raphson dan Fast Decoupled lebih sulit bila dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel dikarenakan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled ada pembentukan matrik Jacobian, begitu pula dengan penyusunan program komputernya, secara relatif metode Newton Raphson dan Fast Decoupled memerlukan waktu lebih lama.
4. Untuk pembentukan elemen matrik Jacobian pada metode Newton Raphson di persamaan

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \text{membut}$$

uhkan waktu pemecahan matematik yang lama dibandingkan pada persamaan

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \text{ dari}$$

metode Fast Decoupled dikarenakan metode Fast Decoupled

menghilangkan elemen matrik J_2 dan J_3 sehingga membutuhkan waktu pemecahan matematik lebih cepat. Mengakibatkan waktu per iterasi metode Fast Decoupled lebih cepat dibanding metode Newton Raphson.

5. Metode Newton Raphson lebih sesuai untuk menghitung aliran beban pada sistem dengan jumlah yang besar, dan kurang sesuai untuk sistem kecil, sedang metode Gauss-Seidel bersifat sebaliknya.
6. Jadi metode yang paling baik adalah metode Fast Decoupled dikarenakan metode ini telah banyak penyempurnaan dari metode-metode sebelumnya dan metode ini dapat diterapkan pada jaringan sistem besar maupun kecil dan cepat mencapai konvergen.

5.2. Saran

1. Penulis menyarankan adanya pengembangan selanjutnya dari Tugas Akhir ini untuk dibandingkan metodenya dengan metode-metode lainnya sebagai perbandingan. Dan juga dapat dicoba diterapkan pada model sistem jaringan bus yang besar contohnya seperti model jaringan standar IEEE 57 bus 80 saluran.
2. Simulasi dalam Tugas Akhir ini masih menggunakan asumsi umum studi aliran daya, yakni kondisi sistem dianggap stabil (*Balance System*) untuk itu penulis menyarankan untuk mencoba menggunakan pula pada kondisi tak stabil (*Unbalanced System*).

DAFTAR PUSTAKA

1. A. Arismunandar, DR, S. Kuwahara, DR, **“Teknik Tenaga Listrik Jilid II”**, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1993.
2. Abdul Kadir, **“Dasar Pemrograman Delphi 5.0 Jilid 1”**, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2001.
3. Abdul Kadir, **“Dasar Pemrograman Delphi 5.0 Jilid 2”**, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2001.
4. Antony Pranata, **“Pemrograman Borland Delphi Edisi 2”**, Penerbit Andi, Yogyakarta, 1998.
5. Budiono Mismail, **“Analisa Sistem Tenaga”**, Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya, Malang, 1983.
6. Duane Hanselman, Bruce Littlefield, **“The Student Edition of MATLAB Version 4”**, The Math Works, Inc, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
7. Duane Hanselman, Bruce Littlefield, Terjemahan : Jozep Edyanto, **“MATLAB Bahasa Komputasi Teknis”**, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2000.
8. Hadi Saadat, **“Power System Analysis”**, McGraw-Hill Series In Electrical and Computer Engineering, 1999.
9. Ipung Punto Yuwono, **“Aplikasi Program dengan Turbo Pascal 5.5”**, Penerbit PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta, 1991.
10. John Matcho & David R. Faulkner, Terjemahkan : Henry Ardian, **“Panduan Penggunaan Delphi”**, Penerbit Andi, Yogyakarta, 1997.
11. Larjiono, **“Studi Banding Metoda Gauss – Seidel (Y bus) dengan Metoda Newton – Raphson (Ybus) Untuk Menghitung Aliran beban Sistem Tenaga Listrik 150 KV Se-Jawa Tengah dan DIY”**, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 1990.
12. Lpk Budiman, **“Borland Delphi 5.0”**, Penerbit Lpk Budiman, Semarang, 2000.
13. Muhammad Iman Santoso, **“Penggunaan Fast Decoupled Metode Unicamp Sebagai Modifikasi Metode Fast Decoupled Standar Dalam Studi Aliran Daya”**, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
14. P. S. R. Murty, **“Power System Operation and Control”**, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1984.
15. Pai M.A., **“Computer Techniques in Power System Analysis”**, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1980.
16. Seminar system Tenaga Elektrik I, **“Proceedings”**, Institute Teknologi Bandung, Bandung, 2000.
17. Sulasno, Ir, **“Analisa Sistem Tenaga Listrik Edisi Kedua”**, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
18. T. S. Hutauruk, **“Analisa Sistem Tenaga Listrik Jilid I”**, Diklat Kuliah, Fakultas Teknik Industri, ITB, Bandung, 1985.
19. T. S. Hutauruk, **“Transmisi Daya Listrik”**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1990.
20. Turan Gonen, **“Modern Power System Analysis”**, John Wiley and Sons Inc, 1988.
21. William D. Stevenson, Jr, Alih Bahasa : Ir. Kamal Idris, **“Analisa Sistem Tenaga Listrik”**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.

