

# Studi Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Metode Gauss-Seidel

Vicky Salamena

*Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Ambon*

vickysalamena@gmail.com

**Abstract**-An electric power system consisting of a number of geographically separated loads and generating systems connected in an interconnection network. To determine the amount of electrical power distributed to each load by each generating station, a power flow analysis is carried out. The results of this analysis obtained power on each load bus, current and power losses on each channel and voltage and voltage angle on each generator system bus. The aim of this study is to obtain the power flow in a three-bus electric power system, which consists of three buses, namely the infinite bus, the load bus and the regulation bus. Mathematical modeling for power flow studies produces nonlinear equations that must be solved simultaneously. There are several numerical methods for solving nonlinear equations. One of the numerical methods used in this research is the Gauss-Seidel method. To solve the power flow, the system is assumed to operate in a three-phase balanced condition and modeling is carried out for one phase which represents the other two phases. This requires four quantities that exist on each bus, namely active power and reactive power that enter the bus with these two quantities known on each bus. Non-linear algebraic equations for the power flow model are solved numerically using the Gauss-Seidel method. From the iteration results, the voltage on bus 2 and bus 3 was  $V_2 = 0,98183\angle -3,5035^0$  pu and  $V_3 = 1,00125\angle -2,8624^0$  pu. The power provided by Slack-Bus is 409.5 MW and 189 MVar. Power losses on lines 1-2 are 8.5 MW + j17.0 MVar, lines 1-3 are 5.0 MW + j15.0 MVar and lines 2-3 are 0.8 MW + j1.60 MVar.

**Keywords:** active-power, reactive-power, bus-voltage, current-line, power-line-loss.

**Abstrak**-Sistem tenaga listrik yang terdiri dari sejumlah beban dan sistem pembangkit yang terpisah secara geografis terhubung dalam suatu jaringan interkoneksi. Untuk mengetahui besar daya listrik yang disalurkan ke setiap beban oleh masing-masing stasiun pembangkit dilakukan analisis aliran daya. Hasil dari analisis tersebut diperoleh daya disetiap bus beban, arus dan rugi-rugi daya disetiap saluran dan tegangan dan sudut tegangan disetiap bus sistem pembangkit.

Tujuan di dalam kajian ini adalah mendapatkan aliran daya pada sistem tenaga listrik tiga bus, yang terdiri dari tiga bus yaitu bus tak terhingga (slack bus), bus beban dan bus regulasi. Pemodelan matematis untuk studi aliran daya menghasilkan persamaan nonlinear yang harus diselesaikan secara serempak (simultan). Ada beberapa metode numerik untuk penyelesaian persamaan nonlinier salah satu metode numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Gauss-Seidel. Untuk penyelesaian aliran daya sistem diasumsikan beroperasi pada kondisi seimbang tiga fasa dan pemodelan dilakukan untuk satu fasa yang mewakili kedua fasa lainnya. Hal ini memerlukan empat kuantitas yang ada pada setiap bus, yaitu daya aktif dan daya reaktif yang masuk ke bus dengan kedua kuantitas ini diketahui pada setiap bus. Persamaan aljabar non-linier untuk model aliran daya diselesaikan secara numerik dengan metode Gauss-Seidel. Hasil Iterasi diperoleh tegangan pada bus 2 dan bus 3 sebesar  $V_2 = 0,98183\angle -3,5035^0$  pu dan  $V_3 = 1,00125\angle -2,8624^0$  pu. Daya yang diberikan oleh Slack-Bus adalah 409,5 MW dan 189 MVar. Rugi daya pada saluran 1-2 sebesar 8,5 MW + j17,0 MVar, saluran 1-3 sebesar 5,0 MW + j15,0 MVar dan saluran 2-3 sebesar 0,8 MW + j1,60 MVar.

**Kata kunci:** daya-aktif, daya-reaktif, tegangan-bus, arus-saluran, rugi-daya-saluran

## 1. PENDAHULUAN

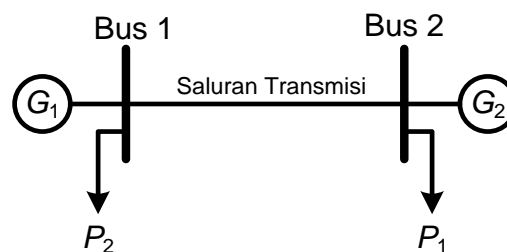
Sistem tenaga listrik merupakan suatu jaringan tenaga listrik yang terdiri dari sejumlah stasiun pembangkit di sejumlah lokasi yang dihubungkan dengan jaringan transmisi dan, atau jaringan distribusi ke berbagai beban (*dimmand*) yang tersebar secara geografis di berbagai lokasi. Dalam pengoperasiannya penyediaan energi listrik dari stasiun pembangkit tergantung dari permintaan beban yang sifatnya dinamis yaitu berubah-ubah setiap waktu.

Untuk mengetahui berapa besar kebutuhan daya listrik di setiap bus beban, berapa besar daya yang dibangkitkan oleh setiap stasiun pembangkit dan juga berapa besar daya yang disalurkan oleh setiap saluran/ jaringan dilakukan analisis terhadap sistem tersebut, yang dikatakan sebagai studi atau analisis aliran daya. Studi aliran daya ini dilakukan dengan asumsi beroperasi pada kondisi beban antar fasa seimbang dan dalam keadaan operasi normal (*steady-state*), sehingga dinyatakan sebagai sistem satu-fasa, [1]. Manfaat studi aliran daya ini untuk melakukan rencana pengembangan, langkah operasional (manuver jaringan), penjadwalan pembangkit yang ekonomis dan juga dipakai untuk analisis kondisi peralihan (*transient*) serta ketidakpastian (*contingency*) sistem. Tujuan dari studi aliran daya untuk mendapatkan nilai tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif di setiap bus, serta rugi daya di setiap saluran, [2].

Untuk mendapatkan nilai setiap parameter dalam studi aliran daya, menggunakan teori rangkaian listrik yaitu hukum Kirchoff dan hukum Ohm, dengan sejumlah jaringan dan bus (simpul) yang cukup banyak akan menghasilkan persamaan non linier yang harus diselesaikan secara simultan (serentak). Persamaan ini semakin kompleks sebanding dengan banyaknya bus serta saluran yang ada pada sistem tersebut. Persoalan komputasi ini diselesaikan dengan metoda numerik, salah satunya adalah Metoda Gauss-Seidel. Metoda ini sering dipakai untuk analisis rangkaian listrik dalam studi aliran daya karena dalam proses iterasinya cepat mencapai konvergen sehingga nilai-nilai tegangan, sudut tegangan pada setiap bus dan lain-lain dapat diperoleh dengan beban komputasi yang rendah pada komputer. Iterasi adalah proses dengan memasukan suatu nilai awal tertentu dan diselesaikan secara berulang sampai nilai-nilai tersebut memenuhi persamaannya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari stasiun-stasiun pembangkit dan pusat-pusat beban yang terhubung satu dengan yang lainnya, dalam kondisi operasi normal beban pada setiap bus akan berubah setiap saat. Bila salah satu bus bertambah bebannya maka daya sistem akan mengalir ke bus tersebut dari satu atau lebih saluran yang terhubung padanya. Sebaliknya bila beban berkurang maka aliran daya ke bus tersebut berkurang, atau mungkin aliran daya mengalir ke bus lain yang bebannya bertambah. Sebagai ilustrasi tinjau Gambar 1.



Gambar 1 Skema sistem tenaga listrik

Bila beban  $P_1$  lebih kecil atau sama dengan daya generator  $G_1$  maka beban  $P_1$  hanya ditanggung oleh generator  $G_1$ , sebaliknya jika beban  $P_1$  lebih besar dari kapasitas generator  $G_1$  maka untuk memenuhi kebutuhan  $P_1$  daya ditambah dari generator  $G_2$  lewat saluran transmisi. Ini berarti bahwa ada aliran daya dari bus 2 ke bus 1. Pada suatu kondisi lain bila beban  $P_2$  memerlukan daya yang lebih besar dari generator  $G_2$  maka daya akan ditambahkan dari generator  $G_1$  sehingga ada aliran daya dari bus 1 ke bus 2.

Fenomena aliran daya ini dapat terjadi pada semua bus dan saluran yang saling berhubungan dalam suatu sistem tenaga listrik. Dengan komposisi bus yang mengandung beban dan pembangkit maka bus tersebut pada suatu saat akan menerima daya dari sistem dan pada lain waktu akan memberikan daya ke sistem.

Analisis aliran daya dilakukan dalam kondisi sistem beroperasi dalam kondisi normal (*steady-state*) dan sistem berada dalam kondisi tiga fasa seimbang sehingga dapat dinyatakan dengan rangkaian satu fasa. Hasil dari studi aliran daya akan mendapatkan profil tegangan dan sudutnya pada setiap bus, besar daya reaktif pada bus-bus tertentu, rugi daya di saluran dan besar daya nyata (aktif)/reaktif yang diinjeksi ke sistem oleh bus berayun (*swing bus*), [3]. Kegunaan dari studi aliran daya

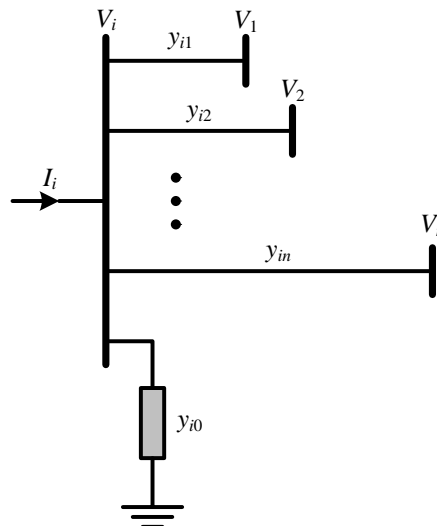
adalah: untuk rencana pengembangan sistem tenaga listrik, pengoperasian sistem, dan penjadwalan ekonomis pembangkit, [1].

## 2.1 Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik

Studi aliran daya yang umumnya disebut aliran daya, merupakan bagian penting dari analisis sistem tenaga. Dalam menyelesaikan persoalan aliran daya sistem diasumsikan beroperasi pada kondisi seimbang tiga fasa dan pemodelan dilakukan untuk satu fasa yang mewakili kedua fasa lainnya. Ada empat kuantitas yang diketahui pada setiap bus yaitu magnitudo tegangan  $|V|$ , sudut fasa tegangan  $\delta$ , daya nyata  $P$  dan daya reaktif  $Q$ . sistem bus umumnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu,

- o **Slack bus**, adalah salah satu bus yang diketahui sebagai bus berayun (*swing bus*). Bus ini memberi acuan untuk magnitudo tegangan dan sudut fasanya yang nilainya telah ditentukan. Bus ini berfungsi menanggulangi kebutuhan daya sistem akibat perbedaan daya beban dan daya pembangkitan karena rugi saluran.
- o **Bus beban**, pada bus ini nilai daya aktif dan reaktif telah ditentukan. Magnitudo tegangan dan sudut fasanya tidak diketahui pada bus ini. Bus ini disebut sebagai P-Q bus.
- o **Bus regulasi**, bus ini adalah bus generator, diketahui juga sebagai bus pengendali tegangan. Pada bus ini daya aktif dan magitudo tegangan telah ditetapkan sedangkan sudut fasa tegangan dan daya reaktif yang akan dicari dengan batas daya reaktif telah ditentukan. Bus ini disebut sebagai P-V bus.

Jaringan suatu sistem tenaga dinyatakan seperti Gambar 2, dengan saluran transmisi dibuat dalam model  $\Pi$  yang impedansinya telah dikonversikan sebagai admitans per unit pada MVA basis sistem.



Gambar 2 Jenis bus pada sistem tenaga

Setelah menerapkan hukum Kirchhoff arus pada bus ini diperoleh,

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \end{aligned} \quad (1)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad \text{untuk } j \neq i \quad (2)$$

Daya aktif dan daya reaktif yang ada di bus adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^* \quad (3)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (4)$$

Substitusi  $I_i$  persamaan (2) ke persamaan (4) diperoleh,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad \text{untuk } j \neq i \quad (5)$$

Ini adalah bentuk persamaan aliran daya yang melibatkan variabel daya aktif, daya reaktif dan tegangan bus.

## 2.2 Metoda Gauss-Seidel

Metoda gauss-seidel digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linear dengan cara iterasi [4], model persamaan non-linear yang dimaksud adalah:

$$f(x) = 0 \quad (7)$$

Fungsi persamaan (4.6) disusun kembali menjadi,

$$x = g(x) \quad (8)$$

Bila  $x^{(k)}$  adalah perkiraan awal dari nilai  $x$ , maka bentuk urutan iterasi adalah:

$$x^{(k+1)} = g(x^{(k)}) \quad (9)$$

Solusi diperoleh bila perbedaan antara nilai absolut iterasi terakhir dan sebelum terakhir lebih kecil dari suatu nilai akurat yang telah ditentukan, dan dinyatakan sebagai,

$$|x^{(k+1)} - x^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (10)$$

Dengan  $\varepsilon$  adalah nilai akurasi.

## 2.3 Model Aliran Daya Menggunakan Metoda Gauss-Seidel

Dalam studi aliran daya bentuk persamaan (5) adalah merupakan persamaan non-linear dengan dua variabel yang tidak diketahui. Dengan menggunakan metoda gauss-seidel untuk mencari nilai tegangan di setiap bus, persamaan (5) dapat disusun kembali menjadi persamaan (6) sehingga dapat dilakukan iterasi.

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)}}{\sum_{j=0}^n y_{ij}} \quad (11)$$

Melihat persamaan (11)  $y_{ij}$  yang ditunjukkan dengan huruf kecil adalah nilai admitans dalam satuan per unit.  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  adalah daya aktif dan daya reaktif yang dinyatakan dalam satuan per unit. Dalam menulis KCL, arus yang masuk kedalam bus  $i$  bertanda positif. Demikian juga untuk bus-bus dimana daya aktif dan daya reaktif diinjeksikan ke dalam bus, sama seperti bus generator,  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  mempunyai nilai positif. Untuk bus-bus beban dimana daya aktif dan daya reaktif mengalir keluar meninggalkan bus,  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  mempunyai nilai negatif. Bila persamaan (5) diselesaikan untuk  $P_i$  dan  $Q_i$  diperoleh:

$$P_i^{(k+1)} = \text{Re} \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (12)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\text{Im} \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (13)$$

Persamaan aliran daya biasanya dinyatakan dengan elemen-elemen dari matriks bus admitans. Elemen-elemen off-diagonal dari matriks admitans bus  $Y_{bus}$ , ditunjukkan dengan huruf besar  $Y_{ij} = -y_{ij}$ , dan elemen diagonal adalah  $Y_{ii} = \sum y_{ij}$ , maka persamaan (11) menjadi,

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)}}{Y_{ii}} \quad (14)$$

dan

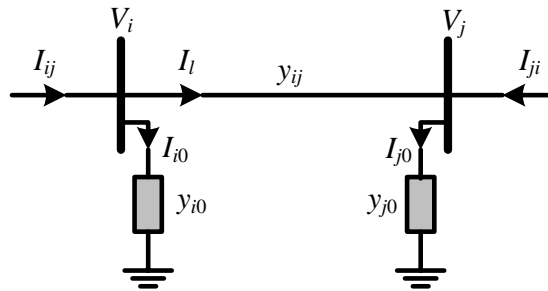
$$P_i^{(k+1)} = \text{Re} \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (15)$$

$$Q_i^{(k+1)} = \text{Im} \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (16)$$

$Y_{ii}$  termasuk semua admitans bus ke pentanahan.

Selanjutnya untuk menghitung rugi saluran dalam analisis aliran daya venomenanya diperlihatkan pada Gambar 3 yang memperlihatkan hubungan antara bus  $i$  dan bus  $j$ . Arus saluran diukur pada bus  $i$  dan didefinisikan berarah positif  $i \rightarrow j$  yang adalah:

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (17)$$



Gambar 3 Model saluran transmisi untuk menghitung aliran daya

Daya kompleks  $S_{ij}$  dari bus  $i$  ke bus  $j$  dan  $S_{ji}$  dari bus  $j$  ke bus  $i$  adalah:

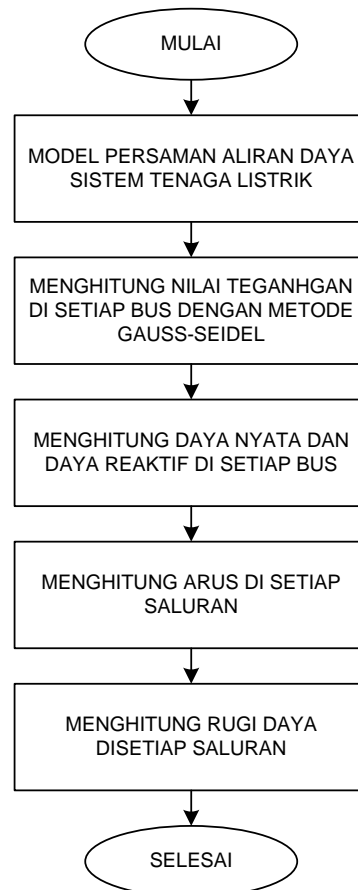
$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad \text{dan} \quad S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (18)$$

Rugi daya dalam saluran  $i - j$  merupakan penjumlahan aljabar dari daya yang mengalir dari  $i$  ke  $j$  dan  $j$  ke  $i$  seperti berikut,

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (19)$$

### III. METODE

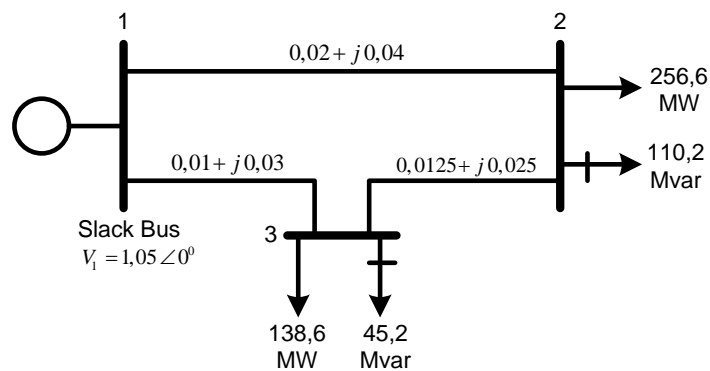
Penelitian dilakukan dengan menerapkan metoda Gauss-Seidel untuk menyelesaikan persamaan non-linier secara numerik, yaitu melalui iterasi. Pertama-tama memodelkan aliran daya sistem tenaga listrik kedalam persamaan matematik yang menghubungkan antara tegangan di setiap bus dengan daya listrik yang diberikan atau diterima oleh bus tersebut. Kuantitas tegangan terdiri dari amplituda dan sudut tegangan sedangkan kuantitas daya adalah daya nyata (aktif) dan daya reaktif. Persamaan aliran daya ini kemudian diselesaikan secara numerik dengan iterasi sehingga menghasilkan nilai tegangan di setiap bus, nilai-nilai ini diperoleh secara serentak (simultan). Setelah mendapatkan nilai tegangan selanjutnya dicari nilai daya nyata dan daya reaktif di setiap bus dan arus yang mengalir di setiap saluran. Dengan diketahuinya arus pada setiap saluran dan impedansi/admitansi pada saluran tersebut dapat ditentukan rugi daya pada setiap saluran dan arah aliran daya (masuk atau keluar dari setiap bus). Bagan alir dari penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4.



**Gambar 4** Bagan alir penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 memperlihatkan diagram satu garis sistem tenaga sederhana tiga bus dengan generator terhubung pada bus 1. Magnitudo tegangan pada bus 1 diatur 1,05-pu. Penjadwalan beban pada bus 2 dan 3 telah ditunjukkan pada diagram. Impedans saluran ditentukan dalam per unit berdasarkan basis 100MVA dan suseptans saluran diabaikan.



**Gambar 5** Diagram satu garis impedansi sistem tenaga listrik

##### 4.1. Menghitung Tegangan Bus

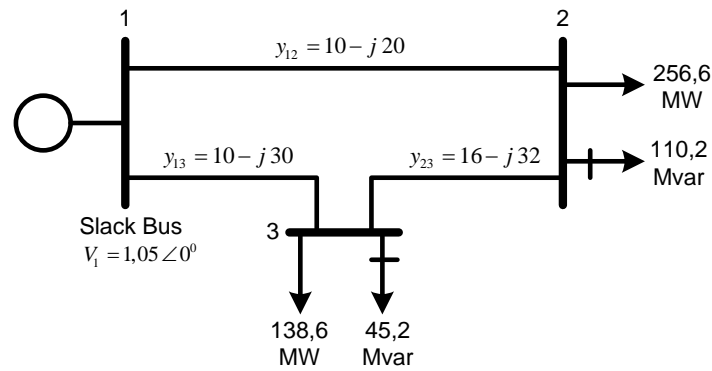
Impedans saluran yang dikonversikan menjadi admitans adalah:

$$y_{12} = \frac{1}{0,02+j0,04} = 10 - j20$$

$$y_{13} = \frac{1}{0,01+j0,03} = 10 - j30$$

$$y_{23} = \frac{1}{0,0125+j0,025} = 16 - j32$$

Admittans-admittans ini ditunjukkan pada diagram Gambar 6.



**Gambar 6** Diagram satu garis admittansi sistem tenaga listrik

Pada bus P-Q, daya kompleks yang dinyatakan dalam satuan pu adalah:

$$S_2^{sch} = -\frac{(256,6 + j110,2)}{100} = -2,566 - j1,102 \text{ pu}$$

$$S_3^{sch} = -\frac{(138,6 + j45,2)}{100} = -1,386 - j0,452 \text{ pu}$$

Dengan bus 1 sebagai slack bus dan menetapkan:

$$V_1^{(0)} = 1,0 + j0,0 \text{ dan}$$

$$V_3^{(0)} = 1,0 + j0,0$$

Maka  $V_2$  dan  $V_3$  dihitung dengan persamaan (4.10) sebagai berikut,

Iterasi 1:

$$V_2^{(1)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(0)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(0)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{1,0 - j0,0} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0 + j0)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$

$$= 0,9825 - j0,0310$$

dan

$$V_3^{(1)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(0)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(1)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1 - j0,0} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9825 - j0,0310)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$

$$= 1,0011 - j0,0353$$

Iterasi 2:

$$V_2^{(2)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(1)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(1)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{0,9825 + j0,0310} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0011 - j0,0353)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$

$$= 0,9816 - j0,0520$$

dan

$$V_3^{(2)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(1)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(2)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1,0011 - j0,0353} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9816 - j0,0520)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$

$$= 1,0008 - j0,0459$$

Iterasi 3:

$$V_2^{(3)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(2)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(2)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{0,9816 + j0,0520} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0008 - j0,0459)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$

$$= 0,9808 - j0,0578$$

dan

$$V_3^{(3)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(2)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(3)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1,0008 - j0,0459} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9808 - j0,0578)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$

$$= 1,0004 - j0,0488$$

Iterasi 4:

$$V_2^{(4)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(3)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(3)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{0,9808 + j0,0578} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0004 - j0,0488)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$

$$= 0,9803 - j0,0594$$

dan

$$V_3^{(4)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(3)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(4)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1,0004 - j0,0488} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9803 - j0,0594)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$
$$= 1,0002 - j0,0497$$

Iterasi 5:

$$V_2^{(5)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(4)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(4)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{0,9803 + j0,0594} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0002 - j0,0497)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$
$$= 0,9801 - j0,0598$$

dan

$$V_3^{(5)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(4)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(5)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1,0002 - j0,0497} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9801 - j0,0598)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$
$$= 1,0001 - j0,0499$$

Iterasi 6:

$$V_2^{(6)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(5)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(5)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{0,9801 + j0,0598} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0001 - j0,0499)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$
$$= 0,9801 - j0,0599$$

dan

$$V_3^{(6)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(5)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(6)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1,0001 - j0,0499} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9801 - j0,0599)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$
$$= 1,0000 - j0,0500$$

Iterasi 7:

$$V_2^{(7)} = \frac{\frac{P_2^{sch} - jQ_2^{sch}}{V_2^{*(6)}} + y_{12}V_1 + y_{23}V_3^{(6)}}{y_{12} + y_{23}} = \frac{\frac{-2,566 + j1,102}{0,9801 + j0,0599} + (10 - j20)(1,05 + j0) + (16 - j32)(1,0000 - j0,0500)}{(10 - j20) + (16 - j32)}$$
$$= 0,9800 - j0,0600$$

dan

$$V_3^{(7)} = \frac{\frac{P_3^{sch} - jQ_3^{sch}}{V_3^{*(6)}} + y_{13}V_1 + y_{23}V_2^{(7)}}{y_{13} + y_{23}} = \frac{\frac{-1,386 + j0,452}{1,0000 - j0,0500} + (10 - j30)(1,05 + j0) + (16 - j32)(0,9800 - j0,0600)}{(10 - j30) + (16 - j32)}$$
$$= 1,0000 - j0,0500$$

Solusi terakhirnya adalah:

$$V_2 = 0,9800 - j0,0600 = 0,98183 \angle -3,5035^\circ \text{ pu}$$

$$V_3 = 1,0000 - j0,0500 = 1,00125 \angle -2,8624^\circ \text{ pu}$$

## 4.2. Menghitung Daya di Slack Bus

Dengan mengetahui tegangan untuk seluruh bus maka daya yang ada di slack bus (bus 1) dapat dicari dengan persamaan (5) yaitu,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j$$

atau

$$P_i - jQ_i = V_i^* (V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j)$$
$$P_1 - jQ_1 = V_1^* [V_1 (y_{12} + y_{13}) - (y_{12} V_2 + y_{13} V_3)]$$
$$= (1,05 - j0) \cdot \{ [(1,05 + j0)((10 - j20) + (10 - j30))] - [(10 - j20)(0,98 - j0,6) + (10 - j30)(1,0 - j0,05)] \}$$
$$= 4,095 - j1,890$$

Daya aktif aktual:

$$P_1 = 4,095(\text{pu}) \cdot 100(\text{MVA}_{base}) = 409,5 \text{ MW}$$

Daya reaktif aktual:

$$Q_1 = 1,890(\text{pu}) \cdot 100(\text{MVA}_{base}) = 189 \text{ MVAr}$$

## 4.3. Menghitung arus di Setiap Saluran

Untuk mendapatkan aliran daya lebih dulu harus menghitung arus saluran. Dengan mengabaikan pemuatan kapasitor saluran, maka arus saluran adalah:

$$I_{12} = y_{12} \cdot (V_1 - V_2) = (10 - j20) \cdot [(1,05 + j0) - (0,98 - j0,06)] = 1,9 - j0,8$$

$$I_{21} = -I_{12} = -1,9 + j0,8$$

$$I_{13} = y_{13} \cdot (V_1 - V_3) = (10 - j30) \cdot [(1,05 + j0) - (1,0 - j0,05)] = 2,0 - j1,0$$

$$I_{31} = -I_{13} = -2,0 + j1,0$$

$$I_{23} = y_{23} \cdot (V_1 - V_3) = (16 - j32) \cdot [(0,98 - j0,06) - (1,0 - j0,05)] = -0,64 + j0,48$$

$$I_{32} = -I_{23} = 0,64 - j0,48$$

#### 4.4. Menghitung Rugi Daya Saluran

Aliran daya pada saluran:

$$S_{12} = V_1 I_{12}^* = (1,05 + j0,0) \cdot (1,9 + j0,8) = 1,995 + j0,84 \text{ pu}$$

$$= 199,5 \text{ -MW} + j 84,0 \text{ -MVAr}$$

$$S_{21} = V_2 I_{21}^* = (0,98 - j0,06) \cdot (-1,9 - j0,8) = -1,91 - j0,67 \text{ pu}$$

$$= -191,0 \text{ -MW} - j 67,0 \text{ -MVAr}$$

$$S_{13} = V_1 I_{13}^* = (1,05 - j0,0) \cdot (2,0 + j1,0) = 2,1 + j1,05 \text{ pu}$$

$$= 210,0 \text{ -MW} + j 105,0 \text{ -MVAr}$$

$$S_{31} = V_3 I_{31}^* = (1,0 - j0,05) \cdot (-2,0 - j1,0) = -2,05 - j0,90 \text{ pu}$$

$$= -205,0 \text{ -MW} - j 90,0 \text{ -MVAr}$$

$$S_{23} = V_2 I_{23}^* = (0,98 - j0,06) \cdot (-0,64 - j0,48) = -0,656 - j0,432 \text{ pu}$$

$$= -65,6 \text{ -MW} - j 43,2 \text{ -MVAr}$$

$$S_{32} = V_3 I_{32}^* = (1,0 - j0,05) \cdot (0,64 + j0,48) = 0,664 + j0,448 \text{ pu}$$

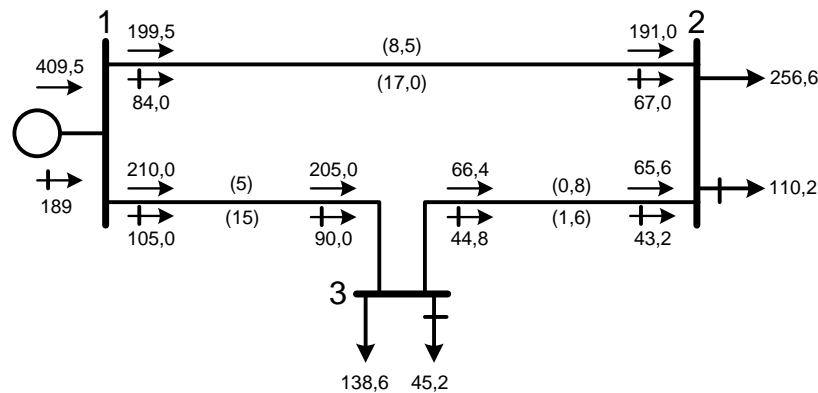
$$= 66,4 \text{ -MW} + j 44,8 \text{ -MVAr}$$

Dan rugi daya di saluran diperoleh sebagai berikut:

$$S_{L12} = S_{12} + S_{21} = (199,5 + j84,0) + (-191,0 - j67,0) = 8,5 \text{ -MW} + j 17,0 \text{ -MVAr}$$

$$S_{L13} = S_{13} + S_{31} = (210,0 + j105,0) + (-205,0 - j90,0) = 5,0 \text{ -MW} + j 15,0 \text{ -MVAr}$$

$$S_{L23} = S_{23} + S_{32} = (-65,6 - j43,2) + (66,4 + j44,8) = 0,8 \text{ -MW} + j 1,60 \text{ -MVAr}$$



Gambar 7 Diagram hasil analisis aliran daya

Diagram aliran daya ditunjukkan pada Gambar 7, dengan daya aktif (nyata) diindikasikan oleh  $\rightarrow$  dan daya reaktif diindikasikan oleh  $\mapsto$ .

## V. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa, setelah dilakukan iterasi sebanyak tujuh kali diperoleh nilai tegangan pada bus 2  $V_2 = 0,9800 - j0,0600 = 0,98183 \angle -3,5035^\circ$  pu dan tegangan pada bus 3  $V_3 = 1,0000 - j0,0500 = 1,00125 \angle -2,8624^\circ$  pu, daya yang diberikan oleh Slack-Bus adalah 409,5 MW dan 189 MVAr dan rugi daya pada saluran 1-2 sebesar 8,5 -MW + j 17,0 -MVAr, saluran 1-3 sebesar 5,0 -MW + j 15,0 -MVAr dan saluran 2-3 sebesar 0,8 -MW + j 1,60 -MVAr.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saadat H., 1999, *Power System Analysis*, International Edition, Mc Graw Hill, Singapore
- [2] Murty P.S.R., 2008, *Power System Analysis*, BS Publications, 4-4-309, Giriraj Lane, Sultan Bazar
- [3] Del Toro V., 1992, *Electric Power System*, Prentice Hall Inc., New Jersey
- [4] Aung Zaw Latt, 2019, Power Flow Analysis based on Newton-Raphson Method for Nine Bus Power System Using PowerWorld Simulator, International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field ISSN: 2455-0620, Volume - 5, Issue - 1, Jan - 2019