

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memudahkan dalam memahami dasar-dasar dalam perencanaan sistem, maka dibutuhkan penjelasan tentang dasar teori yang digunakan dalam penulisan skripsi ini. Beberapa dasar teori yang dimaksud antaranya adalah teori tentang teknik pemrograman UML dan analisis sistem daya elektrik.

#### 2.1 Pemrograman UML

UML merupakan himpunan struktur dan teknik untuk pemodelan desain program berorientasi objek (OOP). UML terdiri dari kata *Unified Modelling Language* yang sering digunakan sebagai alat untuk seorang design sistem atau seorang analis untuk membuat pemodelan rancangan yang nantinya akan diserahkan kepada programmer dan diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman yang bisa menghasilkan program baru. Dalam pemodelan sistem terdapat minimal 4 diagram penting yang harus dibuat yaitu sebagai berikut :

- *Use Case Diagram*
- *Activity Diagram*
- *Sequence Diagram*
- *Class Diagram*

##### 2.1.1 *Use Case Diagram*

*Use case diagram* digunakan untuk menggambarkan konteks sistem yang akan dibangun dan fungsionalitas yang disediakan oleh sistem itu. *Use case diagram* juga menggambarkan siapa yang berinteraksi dengan sistem (Booch, Grady., et al. 2007).

##### 2.1.2 *Activity Diagram*

*Activity diagram* memberikan penggambaran visual dari aliran aktivitas, baik dalam sistem, bisnis, alur kerja, atau proses lainnya. *Activity diagram* berfokus pada kegiatan yang dilakukan dan siapa atau apa yang bertanggung jawab atas kinerja kegiatan tersebut (Booch, Grady., et al. 2007).

Elemen – elemen yang digunakan sebagai notasi dalam *Activity diagram* antara lain: *action nodes*, *control nodes*, dan *object nodes*. *Control nodes* dalam *Activity diagram*

terbagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu *initial-final*, *decision-merge* dan *fork-join*. Masing-masing elemen menjelaskan *work flow* dari sebuah *use case* pada *use case* lainnya.

### 2.1.3 Sequence Diagram

*Sequence Diagram* merupakan *Intraction Diagram* yang digunakan untuk menjelaskan eksekusi sebuah skenario semantik. *Sequence Diagram* juga digunakan untuk menjelaskan interaksi antar objek dalam urutan waktu (Booch, Grady., et al. 2007). *Sequence diagram* bisa digunakan untuk menjelaskan sebuah serangkaian langkah-langkah yang mengirimkan pesan antar satu *lifeline* ke *lifeline* yang lain. Setiap pesan yang dikirimkan bisa memberikan respon (return) relatif pada skenario yang dirancang di *use case diagram*. Interaksi yang terjadi bisa bersifat instansiasi sebuah objek maupun static metode dari sebuah kelas.

### 2.1.4 Class Diagram

*Class Diagram* digunakan untuk menunjukan hubungan dan eksistensi sebuah kelas dari sudut pandang logis dalam sistem. Sebuah *class diagram* merepresentasikan struktur kelas yang membentuk arsitektur dan perilaku sistem dalam proses desain dan analisis (Booch, Grady., et al. 2007). *Class diagram* memberikan gambaran secara menyeluruh tentang objek dan kelas serta relasinya pada arsitektur sistem yang dibangun. *Class diagram* menyediakan fasilitas berbagi model sehingga model yang telah dibangun bisa digunakan kembali untuk pemodelan yang lebih rinci pada perilaku dinamis. Notasi pada *class diagram* bisa digunakan untuk menjelaskan *Object Oriented Programming* sehingga relasi seperti *inheritance*, *polymorphism*, dan semua konsep *Object Oriented Programming* bisa di jelaskan menggunakan notasi *class diagram*.

## 2.2 Sistem Transmisi Daya Listrik

Sistem transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi, karena ada kalanya pembangkit tenaga listrik dibangun ditempat yang jauh dari pusat-pusat beban. Berdasarkan pemasangannya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu: saluran kabel bawah tanah (*underground cable*); dan saluran udara (*overhead lines*). Saluran transmisi kabel bawah tanah menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Kategori saluran transmisi seperti ini digunakan untuk pemasangan di dalam kota. Saluran udara

menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antar menara atau tiang transmisi. Keuntungan dari saluran transmisi udara adalah lebih murah, mudah dalam perawatan, mudah dalam mengetahui letak gangguan, mudah dalam perbaikan, dan lainnya (Stevenson & Granger 1994)

Suatu saluran transmisi listrik mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kinerjanya sebagai bagian dari sistem daya: resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Resistansi dan Induktansi secara seragam tersebar sepanjang saluran dalam bentuk seri. Kapasitansi timbul di antara penghantar-penghantar pada saluran fasa-tunggal atau antara penghantar ke netral. Pada saluran udara kebocoran isolator saluran dapat diabaikan sehingga konduktansi dianggap nol. Meskipun resistansi, induktansi dan kapasitansi tersebar disepanjang saluran, tetapi bila diukur dari ujung pengirim sampai ujung penerima maka akan didapat parameter-parameter yang terpusat (*lumped*) (Stevenson & Granger 1994).

Setelah nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi secara terpusat diketahui, maka besar reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif berturut-berturut dapat dihitung dengan persamaan:

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.1)$$

dan

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.2)$$

Dimana

$X_L$  : Reaktansi induktif saluran transmisi ( $\Omega$ )

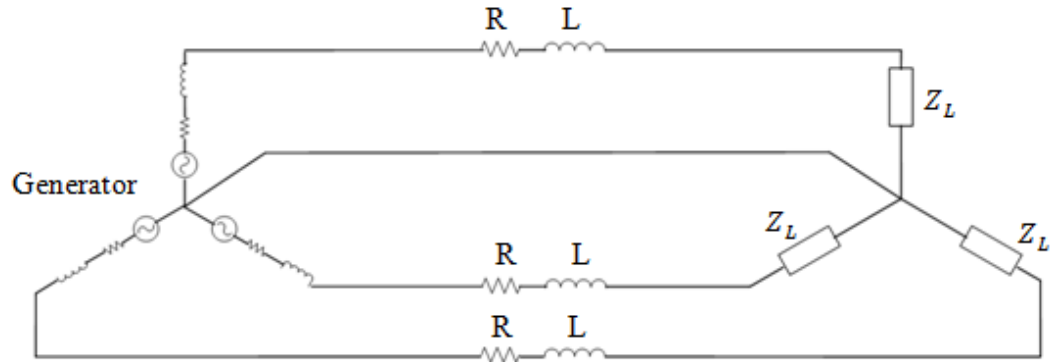
$X_C$  : Reaktansi kapasitif saluran transmisi ( $\Omega$ )

$f$  : frekuensi saluran transmisi (Hz)

$L$  : Induktansi terpusat saluran transmisi (mH)

$C$  : Kapasitansi terpusat saluran transmisi ( $\mu F$ )

Biasanya saluran-saluran tiga-fasa bekerja dengan beban tiga-fasa setimbang. Meskipun saluran-saluran itu tidak memiliki jarak ke beban yang sama dan juga tidak ditransposisikan, tetapi ketidaksimetrisan yang dihasilkan kecil sehingga fasa-fasanya dianggap setimbang (Stevenson & Granger 1994).

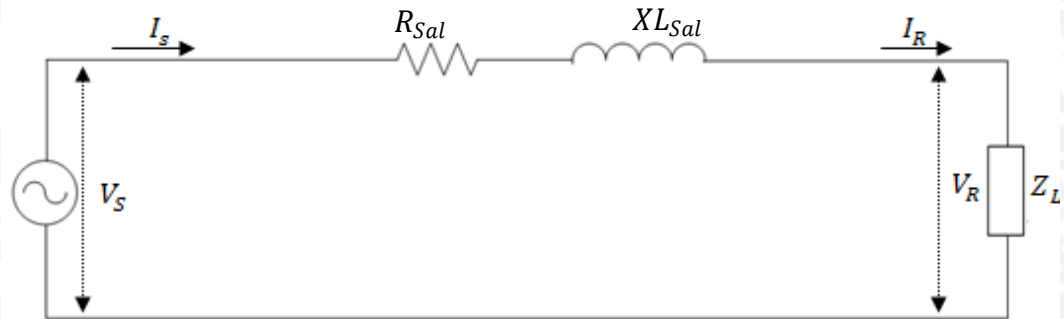


**Gambar 2.1** Generator mencatu beban Y setimbang melalui saluran transmisi  
**Sumber :** Stevenson & Granger 1994

Gambar 2.1 menunjukkan suatu generator dengan hubungan Y yang mencatu beban Y setimbang melalui suatu saluran transmisi. Rangkaian setara saluran transmisi ini telah disederhanakan dengan hanya melibatkan Resistansi  $R$  dan induktansi  $L$  dalam hubungan seri, yang ditunjukkan sebagai parameter-parameter terpusat (*lumped*) dan tidak tersebar secara seragam sepanjang saluran. Hal ini tidak akan menimbulkan perbedaan apakah parameter-parameter itu terpusat ataukah tersebar disepanjang saluran, selama pengukuran dilakukan di ujung-ujung saluran. Generator di sini diwakili oleh sebuah Impedansi yang dihubungkan seri dengan ggl yang dibangkitkan pada masing-masing fasanya. Untuk keperluan analisis dan perhitungan berdasarkan besar-kecilnya kapasitansi saluran terhadap tanah maka saluran transmisi dapat dibagi dalam tiga jenis, yaitu : Saluran Transmisi Pendek, Saluran Transmisi Menengah dan Saluran Transmisi Panjang.

### 2.2.1. Saluran Transmisi Pendek

Saluran transmisi ini memiliki panjang saluran kurang dari 80 km. Kapasitansi saluran ini kecil, sehingga arus bocor ke tanah sangat kecil dibandingkan dengan arus beban, oleh karena itu kapasitansi dapat diabaikan.



**Gambar 2.2** Rangkaian setara saluran transmisi pendek

**Sumber :** Stevenson & Granger 1994

Gambar 2.2 menunjukkan rangkaian setara saluran transmisi pendek dimana  $I_s$  dan  $I_R$  merupakan arus ujung pengirim dan arus ujung penerima dan  $V_s$  dan  $V_R$  adalah tegangan-tegangan saluran terhadap netral pada ujung pengiriman dan penerimaan.  $Z$  adalah impedansi total saluran yang dihitung terpusat dengan nilai  $R + j\omega L$ . Rangkaian tersebut dapat diselesaikan seperti halnya dengan rangkaian arus bolak-balik dalam hubungan seri. Karena tidak terdapat cabang simpang, arus akan sama besarnya pada ujung pengiriman dan penerima, dan

$$I_s = I_R \quad (2.3)$$

Tegangan pada ujung pengirim adalah

$$V_s = V_R + ZI_R$$

$Z$  adalah Impedansi total saluran transmisi yang terdiri dari komponen resistif ( $R$ ) dan induktif ( $L$ ). Bila  $Z$  adalah  $R + j\omega L$  dan  $j\omega L$  sama dengan  $X_L$ , maka persamaan 2.3 dapat ditulis menjadi

$$V_s = V_R + (R + X_L)I_R \quad (2.4)$$

Dengan

$V_s$  : Tegangan sisi kirim (V)

$I_R$  : Arus ujung kirim (A)

$V_R$  : Tegangan sisi terima (V)

$I_R$  : Arus ujung terima (A)

$Z$  : Impedansi total saluran ( $\Omega$ )

$R$  : Resistansi total saluran ( $\Omega$ )

$X_L$  : Reaktansi total saluran ( $\Omega$ )

Dari Gambar 2.2. Tegangan  $V_R$  adalah hasil kali dari arus  $I_R$  dan impedansi beban  $Z_{load}$ . Bila tegangan sisi kirim  $V_R$  adalah  $Z_{load} I_R$  maka persamaan 2.4 dapat diturunkan menjadi

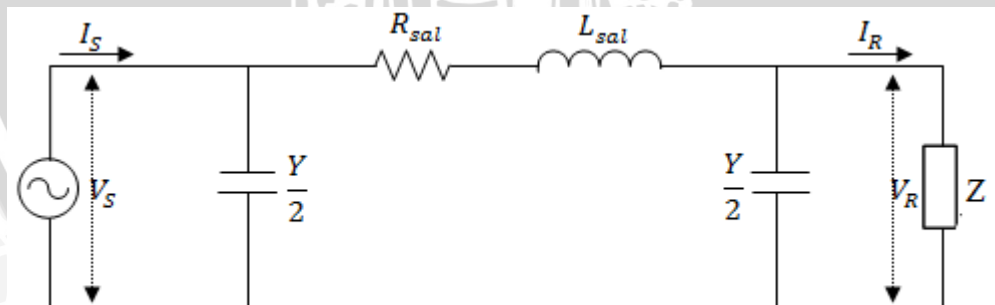
$$\begin{aligned} V_S &= Z_{load} I_R + (R + X_L) I_R \\ V_S &= (Z_{load} R + X_L) I_R \\ I_R &= V_S / (Z_{load} + R + X_L) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Dari persamaan 2.4 dapat diturunkan juga persamaan untuk menghitung tegangan sisi terima  $V_R$  apabila arus ujung terima  $I_R$  belum diketahui. Persamaannya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_S &= V_R + (R + X_L) I_R \\ V_R &= V_S - (R + X_L) I_R \\ V_R &= V_S - \frac{(R + X_L) V_S}{(Z_{load} + R + X_L)} \\ V_R &= \left( 1 - \frac{(R + X_L)}{(Z_{load} + R + X_L)} \right) V_S \end{aligned} \quad (2.6)$$

### 2.2.2. Saluran Transmisi Jarak Menengah

Saluran transmisi menengah memiliki panjang saluran antara 80-250 km. Admitansi simpang, biasanya berupa kapasitansi murni, disertakan dalam perhitungan untuk saluran transmisi jarak menengah. Jika admitansi simpang saluran keseluruhan dibagi dua sama besar dan diletakkan di ujung pengirim dan ujung penerima saluran itu, rangkaian yang terbentuk disebut sebagai nominal  $\pi$ .



**Gambar 2.3** Rangkaian nominal  $\pi$  saluran transmisi menengah

**Sumber :** Stevenson & Granger 1994

Gambar 2.3 adalah rangkaian setara saluran transmisi menengah nominal  $\pi$ . Admitansi simpang diletakkan pada ujung-ujung saluran. Dari rangkaian tersebut dapat

diturunkan beberapa persamaan. Arus dalam kapasitansi pada ujung penerima adalah  $V_R Y/2$  dan arus dalam cabang seri adalah  $I_R + V_R Y/2$ . Maka

$$V_S = Z(V_R \frac{Y}{2} + I_R) + V_R$$

$$V_S = (\frac{ZY}{2} + 1)V_R + ZI_R$$

Impedansi saluran  $Z$  setara dengan resistansi  $R$  dan reaktansi induktif  $X_L$  yang dihubungkan seri, sehingga persamaan dapat dinyatakan sebagaimana berikut

$$V_S = (\frac{(R+X_L)Y}{2} + 1)V_R + (R + X_L)I_R \quad (2.7)$$

Arus dalam kapasitansi simpang pada ujung pengirim adalah  $V_S Y/2$ , yang bila ditambahkan ke arus dalam cabang seri adalah

$$I_S = V_S \frac{Y}{2} + V_R \frac{Y}{2} + I_R \quad (2.8)$$

dengan

$V_S$  :Tegangan sisi kirim (V)

$V_R$  :Tegangan sisi terima (V)

$I_R$  :Arus ujung terima (A)

$Y$  :Admitansi simpang keseluruhan per fasa ke netral.

$Z$  :Impedansi keseluruhan per fasa ( $\Omega$ )

$R$  : Resistansi keseluruhan per fasa ( $\Omega$ )

$X_L$  : Reaktansi keseluruhan per fasa ( $\Omega$ )

Apabila tegangan  $V_R$  diganti dengan hasil kali arus yang mengalir pada ujung kirim  $I_R$  dengan impedansi beban  $Z_{load}$  maka persamaan 2.7 dapat ditulis sebagai berikut.

$$V_S = (\frac{(R+X_L)Y}{2} + 1)V_R + (R + X_L)I_R$$

$$V_S = (\frac{(R+X_L)Y}{2} + 1)Z_{load} I_R + (R + X_L)I_R$$

$$V_S = ((\frac{(R+X_L)Y}{2} + 1)Z_{load} + (R + X_L))I_R$$

$$I_R = V_S / ((\frac{(R+X_L)Y}{2} + 1)Z_{load} + (R + X_L)) \quad (2.9)$$

Apabila pada sisi terima hanya  $Z_{load}$  yang diketahui. Maka untuk mencari tegangan sisi terima  $V_R$  dapat menurunkan persamaan 2.7 menjadi

$$\begin{aligned}
 V_S &= \left( \frac{(R+X_L)Y}{2} + 1 \right) V_R + \left( \frac{R+X_L}{Z_{load}} \right) V_R \\
 V_S &= \left( \frac{(R+X_L)Y}{2} + \frac{R+X_L}{Z_{load}} + 1 \right) V_R \\
 V_S &= \left( \left( \frac{Y}{2} + \frac{1}{Z_{load}} \right) (R + X_L) + 1 \right) V_R \\
 V_R &= V_S / \left( \left( \frac{Y}{2} + \frac{1}{Z_{load}} \right) (R + X_L) + 1 \right)
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

### 2.2.3. Perhitungan Daya

Aliran daya pada setiap titik sepanjang saluran transmisi selalu dapat diperoleh jika tegangan, arus dan faktor daya diketahui atau dapat dihitung (Stevenson & Granger 1994). Daya kompleks beban  $S_R$  adalah hasil kali dari tegangan beban  $V_R$  dan arus beban  $I_R$  dengan sudut conjugate.

$$S_R = V_R I_R^*$$

Hasil perkalian tersebut dalam bentuk vektor akan menghasilkan besar daya dan sudut  $\theta_R$ . Bila hasil tersebut ditransformasikan ke dalam bentuk kartesia maka akan diperoleh  $P_R + jQ_R$  yaitu nilai dari komponen real dan imajiner nya .

$$V_R I_R^* = S_R \angle \theta_R \tag{2.11}$$

Besar komponen-komponen real dan imajiner  $P_R + jQ_R$  adalah

$$P_R = |V_R| \cdot |I_R| \cos \theta_R \tag{2.12}$$

dan

$$Q_R = |V_R| \cdot |I_R| \sin \theta_R \tag{2.13}$$

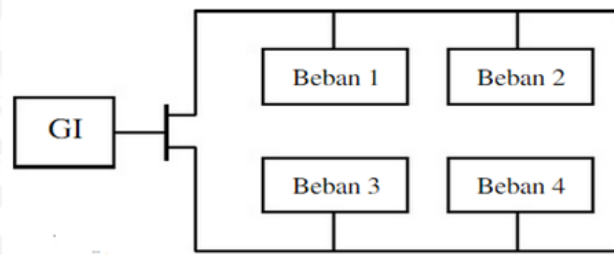
dimana

- $V_R$  : Tegangan beban atau tegangan sisi terima
- $I_R$  : Arus ujung terima
- $S_R$  : Daya kompleks beban
- $P_R$  : Daya nyata beban
- $Q_R$  : Daya semu beban
- $\theta_R$  : Sudut antara tegangan beban dan arus beban

### 2.2.4 Jaringan Distribusi

Saluran transmisi mencatu gardu-gardu induk, di mana tegangan diturunkan menjadi tegangan distribusi primer. Jaringan distribusi primer mencatu pelanggan tegangan

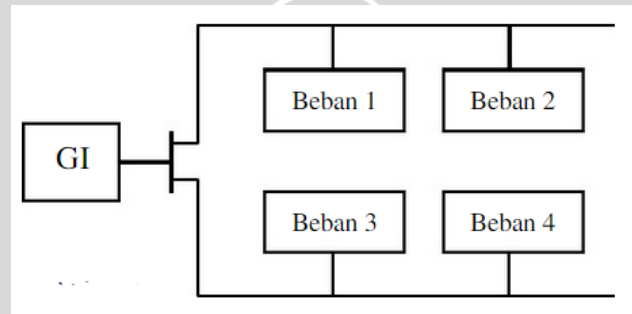
menengah 20 kV. Jaringan distribusi primer bisa dirancang sebagai jaringan radial ataupun loop (Sudirham, 2012)



**Gambar 2.4** jaringan distribusi loop

**Sumber :** Sudirham, 2012

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa pada jaringan distribusi loop, beban dapat menerima daya lebih dari satu arah. Jaringan distribusi radial dijelaskan pada Gambar 2.5



**Gambar 2.5** jaringan distribusi radial

**Sumber :** Sudirham, 2012

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa pada jaringan radial daya mengalir satu arah yaitu dari sumber (gardu) ke beban (pengguna/pelanggan).

#### 2.2.5. Persamaan dalam Bentuk Matrix us

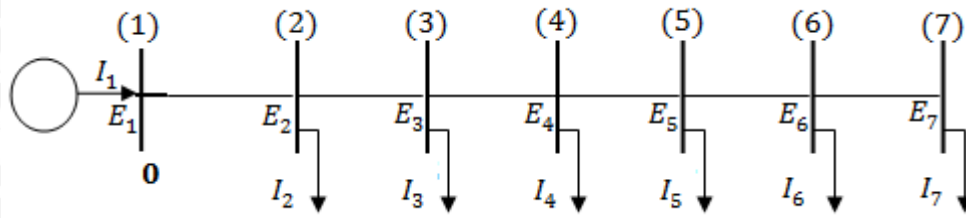
Persamaan sistem daya elektrik dalam bentuk admitansi adalah

$$I_{bus} = Y_{bus} E_{bus} \quad (2.14)$$

Sedangkan dalam bentuk impedansi adalah

$$E_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (2.15)$$

Matrix  $Z_{bus}$  dapat dicari dengan menginvers matrix  $Y_{bus}$ . Masing-masing  $I_{bus}$  dan  $E_{bus}$  merupakan vektor kolom arus dan tegangan bus dalam sistem jaringan listrik. Sebagai berikut contoh sistem jaringan listrik ditunjukkan pada Gambar 2.6



**Gambar 2.6:** Sistem 6 bus 1 generator

**Sumber :** Anonim, 2014

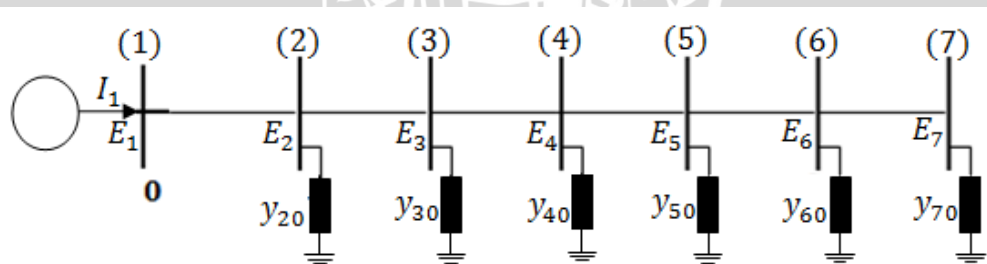
Gambar 2.6 adalah suatu jaringan listrik dengan 6 bus beban dan 1 generator. Dari Gambar 2.6 dapat maka dapat dibentuk persamaan matrix  $Y_{bus}$  sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} & Y_{16} & Y_{17} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} & Y_{26} & Y_{27} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} & Y_{36} & Y_{37} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} & Y_{46} & Y_{47} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} & Y_{56} & Y_{57} \\ Y_{61} & Y_{62} & Y_{63} & Y_{64} & Y_{65} & Y_{66} & Y_{67} \\ Y_{71} & Y_{72} & Y_{73} & Y_{74} & Y_{75} & Y_{76} & Y_{77} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Jika admitansi beban  $y_{10}$  dimasukkan dalam matrik  $Y_{bus}$  maka elemen diagonal bus akan mengalami perubahan sebagai berikut

$$Y'_{ii} = Y_{ii} + y_{i0}$$

dengan melibatkan admitansi beban pada sistem tersebut maka akan didapatkan seperti Gambar 2.7



**Gambar 2.7** Sistem 6 bus 1 generator dengan melibatkan admitansi beban

**Sumber :** Anonim, 2014

Gambar 2.7 menunjukkan sistem 6 bus 1 generator dengan melibatkan admitansi beban.

Admitansi beban bus  $i$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,  $y_{i0} = \frac{P_i - jQ_i}{E_i^2}$ .

Dengan  $P_i = -P_{Li}$  dan  $Q_i = -Q_{Li}$ . Pada Gambar 2.8 jelas bahwa semua arus beban menjadi sama dengan nol, dan persamaan jaringan tersebut menjadi

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} & Y_{16} & Y_{17} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} & Y_{26} & Y_{27} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} & Y_{36} & Y_{37} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} & Y_{46} & Y_{47} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} & Y_{56} & Y_{57} \\ Y_{61} & Y_{62} & Y_{63} & Y_{64} & Y_{65} & Y_{66} & Y_{67} \\ Y_{71} & Y_{72} & Y_{73} & Y_{74} & Y_{75} & Y_{76} & Y_{77} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \end{bmatrix}$$

Matirx  $Z_{bus}$  dapat dibentuk dengan menginvers matrix  $Y_{bus}$ . Tegangan pada setiap bus beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} & Y_{16} & Y_{17} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} & Y_{26} & Y_{27} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} & Y_{36} & Y_{37} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} & Y_{46} & Y_{47} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} & Y_{56} & Y_{57} \\ Y_{61} & Y_{62} & Y_{63} & Y_{64} & Y_{65} & Y_{66} & Y_{67} \\ Y_{71} & Y_{72} & Y_{73} & Y_{74} & Y_{75} & Y_{76} & Y_{77} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Jika  $E_1$  diketahui dan  $Z_{ij}$  adalah elemen-elemen matrix  $Z_{bus}$  yang diperoleh dengan menginvers matrix  $Y_{bus}$ , maka tegangan-tegangan bus lainnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$E_j = Z_{j1}I_1 = \frac{Z_{j1}}{Z_{11}} E_1 \quad (2.18)$$