

# ANALISIS ALIRAN DAYA TIGA FASA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK BERBASIS KOMPUTASI

Nazaruddin<sup>1</sup>, Mahalla<sup>2</sup>, Taufik<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA  
[nazar\\_aw@yahoo.com](mailto:nazar_aw@yahoo.com)

**Abstrak**—Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi aliran daya tiga fasa untuk kondisi beban tak seimbang. Pembebanan tak seimbang terjadi akibat permintaan daya masing-masing fasa tidak sama, hal ini terjadi karena pemakaian beban masing-masing pelanggan bervariasi. Aliran daya tiga fasa adalah suatu studi yang akan memberikan gambaran tentang kondisi tegangan, sudut fasa, arus, daya dan rugi-rugi daya tiap-tiap bus pada masing-masing fasa a, b dan c. Studi aliran daya tiga fasa dapat digunakan pada operasi pengendalian dan perencanaan sistem tenaga listrik tiga fasa. Beban yang tidak seimbang pada sistem tenaga listrik akan berpengaruh pada konsumen yaitu akan terjadi penurunan tegangan yang diterima oleh konsumen. Perhitungan aliran daya tiga fasa menggunakan metode injeksi arus dan proses komputasi akan dikerjakan dengan menggunakan bahasa pemrograman Etap versi 12.0 yang akan diuji pada sistem *IEEE 6 bus*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran daya beban tak seimbang konvergen pada iterasi ke 2. Sistem *IEEE 6 bus* mempunyai drop tegangan terbesar pada bus 3 sebesar 3 %, 2,9 % dan 2,2 % untuk masing-masing fasa a, b dan c. Rugi-rugi jaringan (*losses*) terbesar sistem *IEEE 6 bus* terjadi pada saluran penghubung antar bus 1 dengan bus 2 yaitu sebesar 32,5 KW, 28,1 KW dan 37,1 KW, dengan rugi-rugi total yaitu sebesar 254,1 KW dan 778,5 KVAR

**Keyword:** beban, tak seimbang, aliran daya, komputasi

## I. PENDAHULUAN

Perhitungan aliran daya merupakan suatu komputasi untuk mendapatkan gambaran mengenai aliran daya yang terjadi dalam suatu sistem beserta profile tegangan sangat diperlukan untuk keperluan analisis situasi sistem. Perhitungan aliran daya ini perlu dilakukan karena yang diketahui adalah beban daya aktif dan beban daya reaktif yang ada pada setiap GI atau simpul dalam sistem [4].

Bertambahnya permintaan energi listrik terutama sektor industri, memacu perkembangan sistem daya. Pemintaan beban sewaktu-waktu harus ditanggapi oleh pihak penyedia daya (PLN). Penambahan beban tersebut menyebabkan besarnya beban pada masing-masing fasa tidak sama.

Beban dari fasa seimbang adalah beban dengan arus yang mengalir pada beban-beban simetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan yang simetris pula. Dalam analisisnya sistem yang melayani beban-beban seperti ini biasanya diasumsikan dipasok oleh tegangan yang simetris. Dengan demikian analisisnya dapat dilakukan pada basis perfasa saja [5]. Analisis sistem tiga fasa yang seimbang lebih sederhana, transformasi komponen simetris akan memisahkan sistem tiga fasa seimbang menjadi 3 sistem yang berdiri sendiri, yaitu rangkaian urutan positif, urutan negatif dan urutan nol. Selanjutnya dapat diselesaikan dalam bentuk fasa tunggal, digunakan hanya model urutan positif [8].

Fokus penelitian ini adalah melakukan komputasi untuk aliran daya tiga fasa yang dapat diterapkan untuk kondisi beban seimbang maupun tak seimbang. Proses komputasi dilakukan dengan simulasi software Etap versi 12.0, hasil simulasi tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya daya aktif dan daya reaktif ujung kirim dan ujung tarima, *drop* tegangan dan rugi-rugi daya per fasa.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Kesimbangan Beban

Beban dari fasa banyak seimbang adalah beban dimana arus yang mengalir pada beban-beban simetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan yang simetris pula. Dalam menganalisa beban-beban seperti ini biasanya diasumsikan disuplai oleh tegangan simetris pula. Dengan demikian analisa dapat dilakukan secara perfasa saja. Jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada pada setiap fasa, sedangkan pada kenyataannya beban-beban tersebut tidak seimbang. Dalam hal ini penyelesaiannya menggunakan komponen simetris [1].

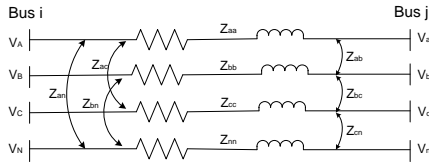
### B. Aliran Daya

Aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis ini memerlukan pula informasi aliran dalam kondisi normal maupun darurat [2] [6].

#### 1) Model Sistem Tiga Fasa Tak Seimbang

Gambar 1 menunjukkan jaringan tiga fasa antara bus  $i$  dan  $j$ . Parameter jaringan dapat ditentukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Carson (1926). Sebuah matriks  $4 \times 4$  yang memasukkan induktansi sendiri dan induktansi bersama, dapat dituliskan sebagai berikut [7]:

$$[Z_{abcn}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$



Gambar 1 Jaringan Tiga Fasa

Untuk sistem yang diketanahkan, VN dan Vn seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1, diasumsikan sama dengan nol. Persamaan (1) digunakan tanpa memasukan pengaruh netral atau penghantar diketanahkan dan digunakan untuk menghitung aliran daya tak seimbang.

$$[Z^{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Hubungan antara tegangan bus dan arus cabang dalam gambar 1 dapat dituliskan:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{Aa} \\ I_{Bb} \\ I_{Cc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Berdasarkan teori komponen simetris maka impedansi urutan dari penghantar saluran transmisi dapat ditentukan perfasanya.

$$V^{abc} = I^{abc} Z^{abc} \quad (5)$$

$$Z^{abc} = \frac{V^{abc}}{I^{abc}} \quad (6)$$

Sehingga impedansi perfasa

$$Z^{abc} = \frac{AV^{012}}{AI^{012}} \quad (7)$$

$$\frac{V^{012}}{I^{012}} = A^{-1} Z^{abc} A \quad (8)$$

Sehingga:

$$Z^{012} = A^{-1} Z^{abc} A \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat ditulis:

$$Z^{012} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Untuk merubah kembali impedansi urutan menjadi impedansi per fasa [7]

$$V^{012} = I^{012} Z^{012}$$

Substitusikan persamaan  $V_a^{012} = A^{-1} V^{abc}$  dan

$$I^{012} = A^{-1} I^{abc} \text{ sehingga}$$

$$A^{-1} V^{abc} = Z^{012} A^{-1} I^{abc}$$

$$Z^{abc} = AZ^{012}A^{-1} \quad (11)$$

Persamaan di atas dapat di tulis:

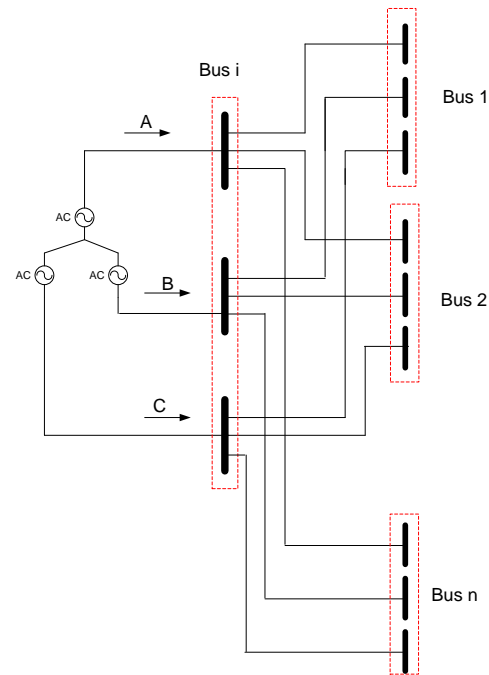
$$Z^{abc} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (12)$$

## 2) Persamaan Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang

Untuk menentukan arus yang mengalir antara bus *i* dan bus *j* pada masing-masing fasa pada Gambar 1, berdasarkan persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{bmatrix} I_{a_{ij}} \\ I_{b_{ij}} \\ I_{c_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc} \\ Y_{ca} & Y_{cb} & Y_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Aa} \\ V_{Bb} \\ V_{Cc} \end{bmatrix}$$

Misalkan saluran transmisi digambarkan dalam bentuk sistem tiga fasa seperti terlihat pada gambar 1 [5]:



Gambar 2 Model Bus Sistem Tenaga Tiga Fasa

Dari gambar 2 persamaan arus tiga fasa pada bus *i* dapat ditulis:

$$I_i^p = \sum_{q=a,b,c} V_i^p \sum_{j=0}^n y_{ij}^{p,q} - \sum_{j=1}^n y_{ij}^{p,q} V_j^q \quad (13)$$

dengan  $p=a,b,c$

Persamaan daya:

$$S_i^p = V_i^p I_i^{p*} \tag{14}$$

karena

$$S_i^p = P_i^p + jQ_i^p \tag{15}$$

maka

$$P_i^p + jQ_i^p = V_i^p I_i^{p*} \tag{16}$$

atau

$$I_i^p = \frac{P_i^p - jQ_i^p}{(V_i^p)^*} \tag{17}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (13) ke persamaan (17) maka diperoleh

$$\frac{P_i^p - jQ_i^p}{(V_i^p)^*} = V_i^p \sum_{q=a,b,c} \sum_{j=0}^n y_{ij}^{p,q} - \sum_{j=1}^n y_{ij}^{p,q} V_j^q \tag{18}$$

$j \neq i$

dengan  $p = a, b, c$

### 3) Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus

Salah satu metode yang biasa digunakan untuk menganalisa aliran daya dengan beban tidak seimbang adalah dengan menggunakan metode injeksi arus. Metode injeksi arus adalah metode baru hasil pengembangan dari metode *Newton-Raphson* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah aliran daya pada sistem tenaga listrik. Metode injeksi arus bekerja dengan cara menginjeksi arus pada masing-masing bus dengan tujuan untuk memperkecil rugi-rugi daya pada saluran. Adapun proses injeksi arus adalah dengan menggunakan persamaan [3]:

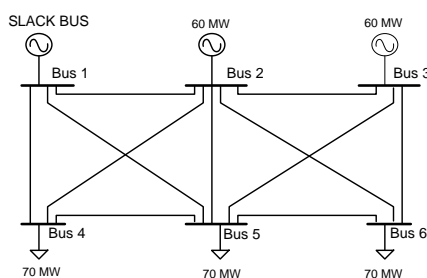
$$I = YE \tag{19}$$

dimana:

- $I$  = arus yang diinjeksi pada setiap bus
- $Y$  = matriks *Jacobian* dari metode injeksi arus
- $E$  = Tegangan pada setiap bus

### C. Objek Penelitian

Untuk menguji formulasi yang diusulkan dalam tulisan ini dilakukan pada sistem *IEEE 6 bus* seperti yang terlihat dalam gambar 3.



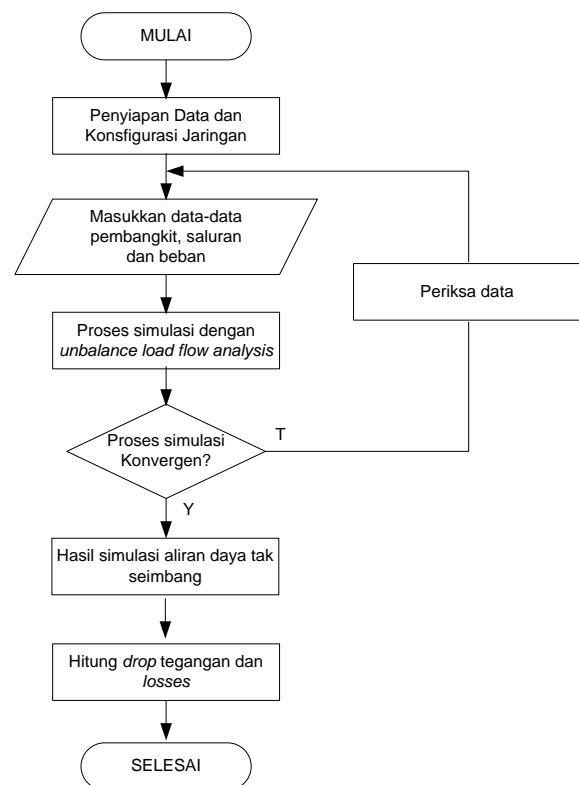
Gambar 3 Konfigurasi Jaringan sistem *IEEE 6 bus*

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa pengambilan data sistem *IEEE 6 bus*, data-data tersebut antara lain berupa data parameter jaringan (resistansi dan reaktansi saluran), Nilai tegangan pada masing-masing bus, nilai daya (P dan Q) pembangkit, dan data beban (P dan Q) pada masing-masing bus.

Metoda Pengolahan data adalah dengan melakukan simulasi dengan program ETAP 12.0.0. Simulasi dilakukan sistem *IEEE 6 bus*. Untuk menyelesaikan penelitian ini dapat dibuat langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Membuat konfigurasi jaringan yang akan diteliti.
2. Memasukkan nilai parameter jaringan (nilai R dan X) pada saluran antar bus.
3. Memasukkan nilai tegangan pada masing-masing bus.
4. Memasukkan nilai beban (P dan Q).
5. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP 12.0.0 untuk kondisi beban tak seimbang.
6. Menghitung besarnya *drop* tegangan (*voltage drop*) dan rugi-rugi jaringan (*losses*) masing-masing fasa pada saluran penghubung antar bus.

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini dapat dibuat dalam bentuk diagram alir seperti terlihat pada Gambar 4 berikut ini:

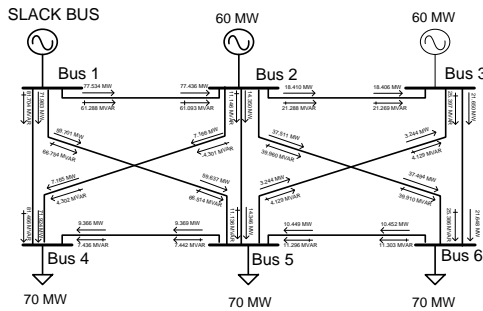


Gambar 4 Diagram alir penelitian

## I. HASIL DAN PEMBAHASAN

**A. Pengujian Sistem**

Pengujian sistem yang dilakukan dalam penelitian yaitu pada sistem *IEEE* 6 bus dengan nilai dasar (*base*) sebesar 100 MVA dan 150 kV, kemudian dilakukan simulasi aliran daya (*power flow*) dengan *software* Etap untuk beban kondisi normal dengan asumsi bahwa sistem dalam keadaan seimbang. Hasil simulasi aliran daya menunjukkan gambaran sistem, sehingga dapat digambarkan peta aliran daya untuk sistem *IEEE* 6 bus seperti ditunjukkan pada gambar 5.



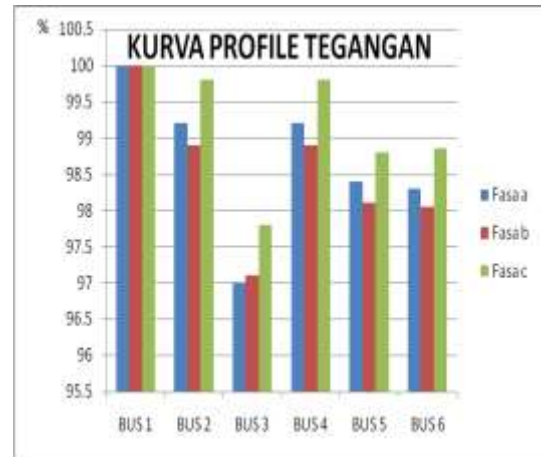
Gambar 5 Peta aliran daya sistem *IEEE* 6 bus

Hasil pengujian untuk beban tak seimbang diperoleh dengan melakukan simulasi aliran daya tak seimbang (*unbalance load flow*) dengan *software* Etap. Hasil simulasi aliran daya untuk beban tak seimbang menunjukkan gambaran kondisi sistem yaitu berupa parameter-parameter di setiap bus yang meliputi tegangan, daya dan rugi-rugi jaringan masing-masing fasa yaitu fasa a, b dan c. Simulasi perhitungan aliran daya menggunakan metode injeksi arus konvergen pada iterasi ke-2 untuk sistem *IEEE* 6 bus. Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel. 1  
Profile Tegangan Perfasa Untuk Sistem *IEEE* 6 Bus

No Bus	Tegangan Bus					
	Fasa a		Fasa b		Fasa c	
	Mag(%)	Angl(deg)	Mag(%)	Angl(deg)	Mag(%)	Angl(deg)
1	100	0.0	100	0.0	100	0.0
2	99.20	-0.1	98.90	-0.1	99.80	-0.1
3	97.00	-0.1	97.10	-0.1	97.80	-0.1
4	99.20	-0.1	98.90	-0.1	99.80	-0.1
5	98.40	-0.1	98.10	-0.1	98.80	-0.1
6	98.30	-0.1	98.05	-0.1	98.85	-0.1

Berikut ini hasil dari tabel 1 dapat dibuat dalam bentuk grafik, berturut-turut grafik magnitudo tegangan pada tiap-tiap bus masing-masing fasa untuk sistem *IEEE* 6 bus dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva Profile Tegangan Sistem *IEEE* 6 bus

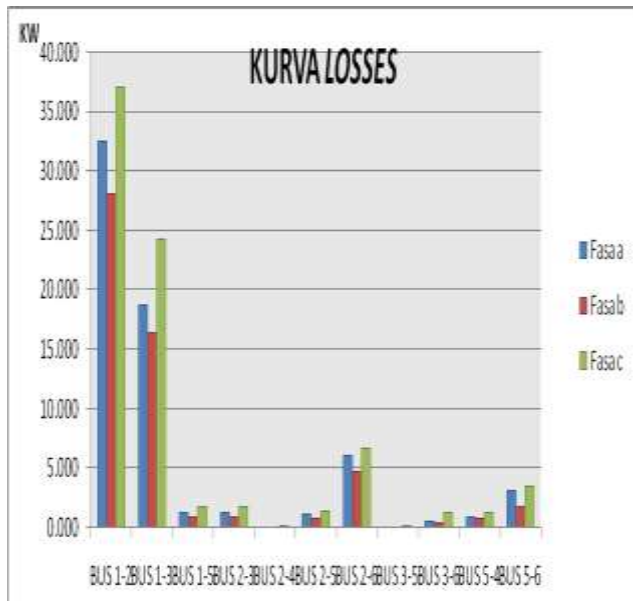
Gambar 6 menunjukkan besarnya tegangan setiap bus masing-masing fasa untuk sistem *IEEE* 6 bus. Dengan sumbu vertikal sebagai nilai tegangan dalam per unit (pu) dan sumbu horizontal adalah nomor bus., dengan bus 1 sebagai bus referensi (*slack bus*).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa magnitudo tegangan pada bus 1 yang merupakan tegangan referensi sebesar 100% untuk fasa a, b dan c. Sedangkan nilai tegangan minimum pada bus 3 yaitu sebesar 97 %, 97,1 % dan 97,8 % untuk masing-masing fasa a, b dan c, sehingga pada bus 3 mengalami drop tegangan sebesar 3 %, 2,9 % dan 2,2 % untuk masing-masing fasa a, b dan c.

Tabel. 2  
Rugi-Rugi Daya Untuk System *IEEE* 5 Bus

Bus dari	Bus ke	Saluran	Losses		
			KW(a)	KW(b)	KW(c)
1	2	Cable 1	32.50	28.10	37.10
1	3	Cable 2	18.70	16.40	24.20
1	5	Cable 3	21.60	19.40	23.20
2	3	Cable 4	1.35	0.95	1.70
2	4	Cable 5	0.15	0.08	0.17
2	5	Cable 6	1.20	0.80	1.30
2	6	Cable 7	6.10	4.70	6.70
3	5	Cable 8	0.10	0.08	0.10
3	6	Cable 9	0.60	0.40	1.20
4	5	Cable 10	0.90	0.80	1.20
5	6	Cable 11	3.20	2.80	3.40

Hasil simulasi yang ditunjukkan dalam tabel 2 adalah gambaran rugi-rugi daya (*losses*) masing-masing fasa (fasa a, b dan c), untuk sistem *IEEE* 6 bus. Hasil tabel 2 dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7.



**REFERENSI**

[1] Basri, H. 1993. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. ISTN. Jakarta.  
 [2] Cekdin, C. H. 1993. 2006. “*Sistem Tenaga Listrik*”. Andi. Yogyakarta  
 [3] Garcia, P.A.N., et al., *Three-phase power flow calculations using the current injection method*. IEEE Transactions on Power Systems, 2000. 15(2): p. 508-514  
 [4] Marsudi, D., 1990, “*Operasi Sistem Tenaga Listrik*”, Balai Penerbit&Humas ISTN, Jakarta.  
 [5] Nazaruddin. 2006. *Analisis Aliran Daya Tak Seimbang pada Sistem Tenaga Listrik Berdasarkan Komponen Simetris*. Tesis FT UGM Yogyakarta  
 [6] Saadat. H., 1999, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, New York.  
 [7] Teng, J.H.,2000, *A Network-Topology-based Three-Phase Load Flow for Distribution System*, Proc. Natl. Sci. ROC(A), Vol. 24, No. 4, pp. 259-264.  
 [8] Zhong, S. dan Abur, A.2002, “*Effects of Nontransposed Lines and Unbalanced Loads on State Estimation*” IEEE, 0-7803-7322-7/02, 975-979,

Gambar 7 Karakteristik rugi-rugi daya sistem IEEE 6 bus

Gambar 7 menunjukkan karakteristik rugi-rugi daya (*losses*) pada masing-masing saluran penghubung antar bus pada sistem IEEE 6 bus, dengan rugi-rugi daya terbesar pada saluran penghubung antara bus 1 dengan bus 2 yaitu masing-masing sebesar 32,5 KW, 28,1 KW dan 37,1 KW masing-masing untuk fasa a, b dan c. Sedangkan rugi-rugi daya terkecil terjadi pada saluran penghubung antara bus 3 ke 5 yaitu masing-masing sebesar 0,1 KW, 0,08 KW dan 0,1 KW masing-masing untuk fasa a, b dan c.

**I. KESIMPULAN**

Dari hasil simulasi aliran daya untuk beban tak seimbang pada sistem IEEE 6 bus, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Hasil simulasi aliran daya akan memberikan gambaran daya aktif dan daya reaktif (ujung kirim dan ujung terima), *drop* tegangan dan rugi-rugi daya masing-masing fasa A, B dan C pada tiap-tiap bus. Drop tegangan yang paling tinggi terjadi pada bus 3 yaitu sebesar 3 %, 2,9 % dan 2,2 % untuk masing-masing fasa a, b dan c. Rugi-rugi daya (*losses*) paling besar terjadi pada kabel 1 yang menghubungkan bus 1 dengan bus 2 yaitu sebesar 32,5 KW, 28,1 KW dan 37,1 KW masing-masing untuk fasa a, b dan c. Sedangkan rugi-rugi daya terkecil terjadi pada saluran penghubung antara bus 3 ke 5 yaitu masing-masing sebesar 0,1 KW, 0,08 KW dan 0,1 KW masing-masing untuk fasa a, b dan c. Total