

# Analisis Aliran Beban Tak Seimbang Pada Jaringan Distribusi Sistem Radial *Feeder* Lk 07 Sistem Kelistrikan Lhokseumawe

Nazaruddin<sup>1</sup>, Mahalla<sup>2</sup>, Fauzi<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

*Abstraks-* Penelitian ini bertujuan untuk melakukan komputasi aliran beban tak seimbang pada jaringan distribusi sistem radial. Pembebanan tak seimbang muncul di sisi beban akibat permintaan daya oleh beban masing-masing fasa tidak sama besar, hal ini disebabkan karena pemakaian beban oleh pelanggan tidak sama. Beban yang tidak seimbang pada sistem tenaga listrik akan berpengaruh pada konsumen yaitu akan terjadi penurunan tegangan yang diterima oleh konsumen. Suatu studi aliran beban dengan kondisi beban tak seimbang 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. Perhitungan aliran beban tak seimbang dengan melakukan proses komputasi dengan menggunakan bahasa pemrograman Etap versi 12.6 dengan objek penelitian jaringan distribusi sistem radial *feeder* LK 07 sistem kelistrikan Lhokseumawe. Hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran daya beban tak seimbang konvergen pada iterasi ke 2, mempunyai daya slack bus masing-masing fasa adalah 185,4 KW untuk fasa a, 189,8 KW untuk fasa b dan 182 KW untuk fasa c. Sedangkan total losses masing-masing fasa adalah 0,8 untuk fasa a, 0,8 untuk fasa b dan 0,7 untuk fasa c. *Feeder* LK 07 mempunyai drop tegangan terbesar pada bus TP 10, TP 12 dan TP 13. Bus TP 10 mempunyai drop tegangan yaitu sebesar 3,174 %, 1,76 % dan 1,71 %, Bus TP 12 mempunyai derop tegangan 1,74 %, 1,77 % dan 1,72 % dan Bus TP 13 mempunyai drop tegangan 1,78 %, 1,78 % dan 1,77 % u masing-masing fasa a, b dan c. Rugi-rugi jaringan (losses) terbesar *feeder* LK 07 terjadi pada kabel 1 yang merupakan penghubung antar bus GH dengan bus LK 114 yaitu sebesar 0,2 KW, 0,2 KW dan 0,2 KW masing-masing untuk fasa a, b dan fasa c. Rugi-rugi total yaitu sebesar 2,3 KW dan 2,9 KVAR

Keyword: aliran beban, tak seimbang, komputasi

## I. PENDAHULUAN

Penyaluran energi listrik dengan beban tersebar jauh yang disalurkan dari satu sisi menggunakan jaringan distribusi sistem radial. Sistem radial adalah bentuk jaringan yang paling sederhana yang menghubungkan beban-beban ke titik sumber, biayanya relatif murah akan tetapi memiliki keandalan yang relatif rendah dan mengalami susut tegangan lebih besar untuk beban yang terletak paling jauh [1].

Besarnya beban yang harus dilayani oleh pihak penyedia daya (pembangkit) berubah sepanjang waktu tergantung kepada keperluan para pemakai tenaga listrik. Penambahan beban tersebut menyebabkan besarnya beban pada masing-masing fasa tidak sama besar[4].

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], [6].

Analisis sistem tiga fasa yang seimbang lebih sederhana, transformasi komponen simetris akan memisahkan sistem tiga fase 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].

Analisis sistem tiga fasa yang seimbang lebih sederhana, transformasi komponen simetris akan memisahkan sistem tiga fase seimbang menjadi 3 sistem yang berdiri sendiri, yaitu rangkaian urutan positif, urutan negatif dan urutan nol. Selanjutnya dapat diselesaikan dalam bentuk fase tunggal, digunakan hanya model urutan positif [8].

Fokus penelitian ini melakukan perhitungan aliran beban pada jaringan distribusi sistem radial dengan kondisi beban tak seimbang. Dalam sistem tenaga listrik, aliran beban tak seimbang diterapkan untuk mengetahui profile tegangan, aliran daya dan *losses* masing-masing fasa yaitu fasa a, b dan c. Proses komputasi dilakukan dengan perangkat lunak Etap 12.6.0, dengan objek penelitian adalah jaringan distribusi 20 KV sistem kelistrikan Lhokseumawe pada *feeder* LK 07

## II. METODOLOGI PENELITIAN

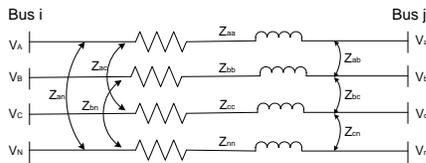
### A. Model sistem tiga fasa tak seimbang

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[2].

Gambar 1 menunjukkan jaringan tiga fasa antara bus  $i$  dan  $j$ . Parameter jaringan dapat ditentukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Carson (1926). Sebuah matriks 4x4 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:

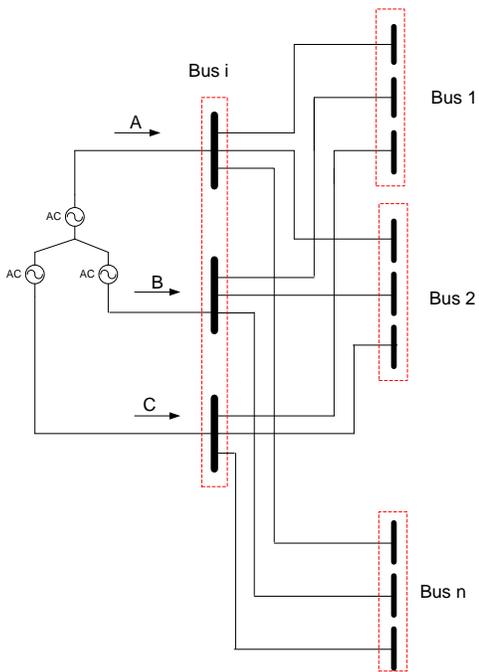
$$Z^{abc} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (12)$$

### B. 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:

$$S_i^p = V_i^p I_i^{p*} \quad (14)$$

karena

$$S_i^p = P_i^p + jQ_i^p \quad (15)$$

maka

$$P_i^p + jQ_i^p = V_i^p I_i^{p*} \quad (16)$$

atau

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

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

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

$\neq i$

dengan  $p = a, b, c$

**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] :

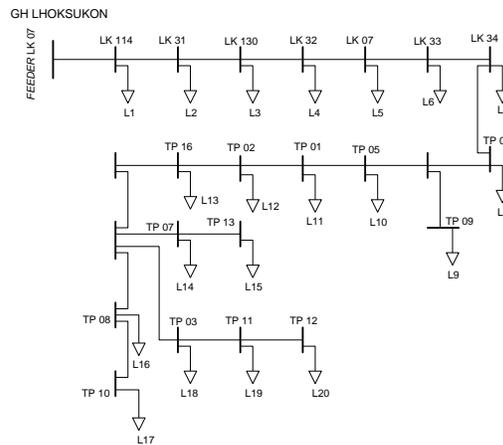
$$I = YE \quad (19)$$

dimana :

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

**C. Objek Penelitian**

Tulisan ini mengambil objek penelitian pada konfigurasi jaringan distribusi sistem radial *feeder* LK 07 GH Lhoksukon sistem kelistrikan Lhokseumawe seperti ditunjukkan pada gambar 3:



Gambar 3

Konfigurasi Jaringan Dustribusi sistem radial *feeder* LK 07

**D. Metode pengolahan data**

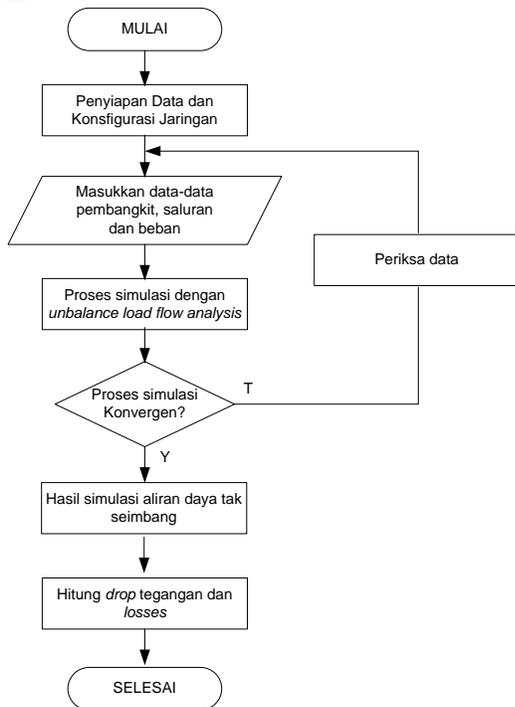
Metoda Pengolahan data adalah dengan melakukan simulasi dengan program ETAP 12.0.0. Simulasi dilakukan pada jaringan distribusi sistem radial *feeder* LK 07.

Jalannya Penelitian:

1. Membuat konfigurasi jaringan yang menjadi objek penelitian
2. Memasukkan nilai resistansi dan raektansi saluran penghubung antar bus.

3. Memasukkan nilai tegangan pada masing-masing bus.
4. Memasukkan nilai daya P dan daya Q beban.
5. Melakukan simulasi dengan menggunakan software ETAP 12.0.0 dengan menjalankan *unbalance load flow analysis* 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:

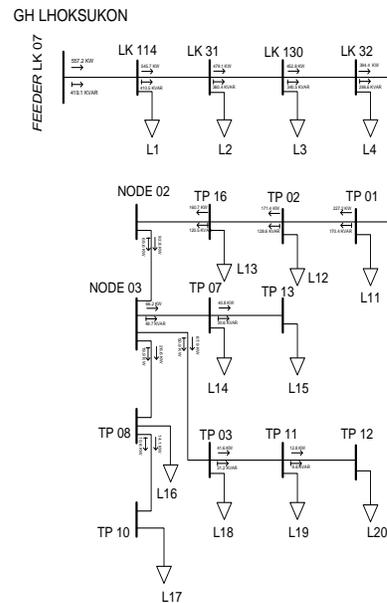


Gambar 4 Diagram alir penelitian

### III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada objek penelitian jaringan distribusi 20 Kv sistem radial *feeder* LK 07 dengan nilai dasar (*base*) sebesar 30 MVA dan 20 kV, kemudian dilakukan simulasi aliran beban (*load flow*) dengan *software* Etap dengan asumsi beban seimbang (kondisi normal). Hasil simulasi aliran beban menunjukkan gambaran sistem, sehingga dapat digambarkan peta aliran beban (*load flow map*) untuk jaringan distribusi sistem radial *feeder* LK 07 seperti ditunjukkan pada gambar 5.



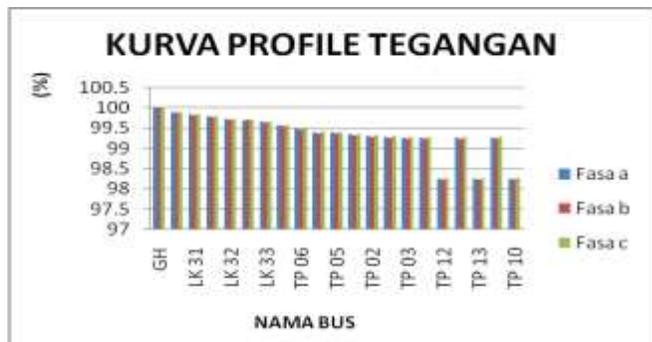
Gambar 5 Peta aliran beban jaringan distribusi *feeder* LK 07

Pengujian untuk beban tak seimbang dilakukan dengan menjalankan *unbalance load flow* pada *software* Etap. Hasil simulasi aliran beban tak seimbang menunjukkan gambaran kondisi setiap bus yang meliputi tegangan, daya dan rugi-rugi jaringan masing-masing fasa yaitu fasa a, b dan c. Simulasi perhitungan aliran beban menggunakan metode injeksi arus konvergen pada iterasi ke-2. Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel. 1 Profile tegangan perfasa untuk jaringan distribusi *feeder* LK 07

Nama Bus	Tegangan Bus					
	Fasa a		Fasa b		Fasa c	
	Mag(%)	Angl(deg)	Mag(%)	Angl(deg)	Mag(%)	Angl(deg)
GH	100	0.0	100	-120.0	100.00	120.0
LK 114	99.89	0.0	99.89	-120.0	99.89	120.0
LK 31	99.84	0.0	99.84	-120.0	99.84	120.0
LK 130	99.80	-0.1	99.79	-0.1	99.80	-0.1
LK 32	99.73	0.0	99.72	-120.0	99.73	120.0
LK 07	99.70	0.0	99.71	-120.0	99.71	120.0
LK 33	99.67	0.0	99.66	-120.0	99.67	120.0
LK 34	99.58	-0.1	99.56	-120.1	99.58	119.9
TP 06	99.48	-0.1	99.46	-120.1	99.49	119.9
TP 09	99.41	-0.1	99.38	-120.1	99.42	119.9
TP 05	99.40	-0.1	99.37	-120.1	99.40	119.9
TP 01	99.35	-0.1	99.32	-120.1	99.36	119.9
TP 02	99.31	-0.1	99.28	-120.1	99.33	119.9
TP16	99.30	-0.1	99.27	-120.1	99.32	119.9
TP 03	99.28	-0.1	119.9	-120.1	99.30	119.9
TP 11	99.27	-0.1	99.24	-120.1	99.29	119.9
TP 12	98.26	-0.1	98.24	-120.1	98.28	119.9
TP 07	99.28	-0.1	99.25	-120.1	99.30	119.9
TP 13	98.25	-0.1	98.23	-120.1	98.27	119.9
TP 08	99.27	-0.1	99.25	-120.1	99.30	119.9
TP 10	98.26	-0.1	98.24	-120.1	98.29	119.9

Berikut ini hasil dari tabel 1 dapat dibuat dalam bentuk grafik, berturut-turut grafik magnitudo tegangan pada tiap-tiap bus masing-masing fasa untuk jaringan distribusi *feeder* LK 07 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva Profile Tegangan jaringan distribusi *feeder* LK 07

Gambar 6 menunjukkan besarnya tegangan setiap bus masing-masing fasa untuk jaringan distribusi *feeder* LK 07. Dengan sumbu vertikal sebagai nilai tegangan dalam per unit (pu) dan sumbu horizontal adalah nomor bus., dengan bus 1 sebagai bus referensi (*slack bus*).

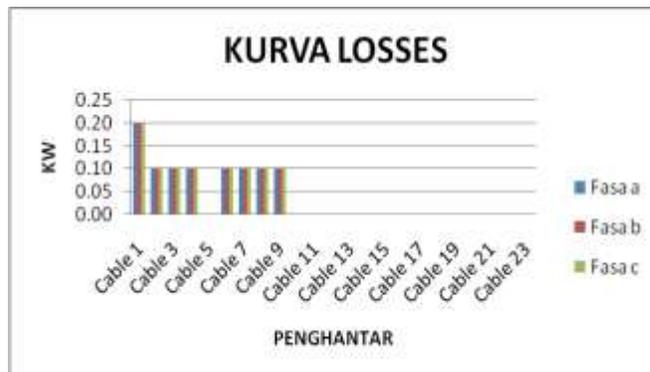
Tabel. 2 Rugi-rugi daya untuk jaringan distribusi *feeder* LK 07

Bus		Saluran	Losses		
dari	ke		KW(a)	KW(b)	KW(c)
GH	LK 114	Cable 1	0.20	0.20	0.20
LK 114	LK 31	Cable 2	0.10	0.10	0.10
LK 31	LK 130	Cable 3	0.10	0.10	0.10
LK 130	LK 32	Cable 4	0.10	0.10	0.10
LK 32	LK 07	Cable 5	0.00	0.00	0.00
LK 07	LK 33	Cable 6	0.10	0.10	0.10
LK 33	LK 34	Cable 7	0.10	0.10	0.10
LK 34	TP 06	Cable 8	0.10	0.10	0.10
TP 06	NODE 1	Cable 9	0.10	0.10	0.10
NODE 1	TP 09	Cable 10	0.00	0.00	0.00
NODE 1	TP 05	Cable 11	0.00	0.00	0.00
TP 05	TP 01	Cable 12	0.00	0.00	0.00
TP 01	TP 02	Cable 13	0.00	0.00	0.00
TP 02	TP 16	Cable 14	0.00	0.00	0.00
TP 16	NODE 2	Cable 15	0.00	0.00	0.00
NODE 2	TP 03	Cable 16	0.00	0.00	0.00
TP 03	TP 11	Cable 17	0.00	0.00	0.00
TP 11	TP 12	Cable 18	0.00	0.00	0.00
NODE 2	NODE 3	Cable 19	0.00	0.00	0.00
NODE 3	TP 07	Cable 20	0.00	0.00	0.00
TP 07	TP 13	Cable 21	0.00	0.00	0.00
NODE 3	TP 08	Cable 22	0.00	0.00	0.00
TP 08	TP 10	Cable 23	0.00	0.00	0.00

Hasil simulasi menunjukkan bahwa magnitudo tegangan pada bus 1 (*bus* GH) yang merupakan tegangan referensi sebesar 100% untuk fasa a, b dan c. Sedangkan nilai tegangan minimum pada bus TP 10, TP 12 dan TP13 yaitu sebesar 98, 26 % , 98,24 % dan 98,29 % , untuk masing-masing fasa a, b dan c, sehingga pada masing-masing bus tersebut mengalami drop tegangan sebesar 1,74 % , 1,76 % , dan 1,71 % untuk fasa a, b dan c.

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.



Gambar 7 Karakteristik rugi-rugi daya jaringan distribusi *feeder* LK 07

Gambar 7 menunjukkan karakteristik rugi-rugi daya (*losses*) pada masing-masing saluran penghubung antar bus pada jaringan distribusi *feeder* LK 07, 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.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi aliran daya untuk beban tak seimbang pada *feeder* LK07, maka dapat diambil kesimpulan bahwa hasil simulasi aliran daya akan memberikan gambaran daya aktif dan daya reaktif (ujung kirim dan ujung terima), *drop* tegangan dan rugi-rugi daya pada masing-masing fasa, dengan drop tegangan tertinggi terjadi pada bus TP 10, TP 12 dan TP 13. Untuk TP 10 yaitu sebesar 1,74 % , 1,76 % dan 1,71 % , Bus TP 12 sebesar 1,74 % , 1,77 % dan 1,72 % , dan Bus TP 13 yaitu sebesar 1,78 % , 1,78 % dan 1,77 % , untuk masing-masing fasa a, b dan c. Rugi-rugi daya (*losses*) terbesar terjadi pada kabel 1 yang menghubungkan antara bus GH dengan bus LK 114 yaitu

sebesar 0,2 KW, 0,2 KW dan 0,2 KW masing-masing untuk fasa a, b dan c. Total losses yang terjadi pada feeder LK 07 yaitu sebesar 2,3 KW dan 2,9 KVAR.

## REFERENSI

- [1] Adrianti dan Iriani, S., 2008, "*Studi Aliran Daya Tiga Fasa Sistem Distribusi dengan Metode Pendekatan Langsung*", Jurnal Teknik, UNAND, Vol. 2 No. 29, pp 60-66, Padang
- [2] Basri, H. 1993. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. ISTN. Jakarta.
- [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,