

**STUDI ALIRAN DAYA UNTUK BEBAN TAK SEIMBANG**  
**(Studi kasus Sistem Tenaga Listrik 150 kV Jawa Tengah dan DIY)**

**Yasin Mohamad<sup>1</sup>**

**ABSTRAK**

*Tujuan dari studi Aliran daya untuk Beban Tak Seimbang ini adalah untuk melihat performance sistem tenaga listrik jika bebannya dalam kondisi tidak seimbang. Beban yang tidak seimbang pada sistem tenaga listrik tersebut akan berpengaruh pada penurunan tegangan di sisi konsumen dan menyebabkan adanya arus yang mengalir pada titik netral.*

*Metodologi penelitian dilakukan melalui simulasi aliran beban dengan menggunakan program aplikasi EDSA Technical 2000 dengan menjalankan object oriented unbalanced 3 phase load flow. Penelitian ini dilakukan pada sistem tenaga listrik Jawa Tengah dan DIY. Simulasi dilakukan untuk beberapa kondisi sistem yaitu mulai dari kondisi beban rendah, beban puncak dan pada kondisi beban naik 5 % dari beban puncak.*

*Hasil simulasi menunjukkan ketidakseimbangan tegangan untuk masing-masing fasa tidak begitu signifikan yaitu untuk kondisi beban rendah rata-rata 0,95 %, untuk kondisi beban puncak rata-rata 1,98 % dan untuk kondisi beban naik 5 % dari beban puncak adalah 2,08 %.*

*Kata Kunci : Tiga fasa, Aliran beban tak seimbang, EDSA*

**ABSTRACT**

*The purpose of Unbalanced load flow study is see performance power system if the load in a state of unbalance. Disproportionate burden of the power system affect the voltage drop in the consumer side.*

*Methodology of the research conducted through the load flow simulation using an application program EDSA Technical 2000 with object-oriented unbalanced 3 phase load flow. This research was conducted on electric power system of Central Java and Yogyakarta. Simulations performed for several conditions of the system starting from the lightest load conditions up to the heaviest load and the load conditions up 5% from the peak load.*

*The simulation results show the voltage unbalance for each phase are not so significant that is average for the lightest load conditions is 0.95%, the heaviest load conditions is 1,98 % and the load conditions up 5% from the peak load is 2,08 %*

*Key words: Three phase, unbalanced load flow, EDSA*

---

<sup>1</sup>Yasin Mohamad, ST., MT, Dosen jurusan Elektro Universitas Negeri Gorontalo

## **PENDAHULUAN**

Perhitungan aliran daya dan tegangan pada sistem tenaga listrik merupakan bagian yang sangat penting dan jaringan direpresentasikan dalam rangkaian satu fasa. Setiap bus dikategorikan dalam empat kondisi yaitu tegangan ( $V$ ), daya aktif ( $P$ ), daya reaktif ( $Q$ ) dan sudut fasa ( $\delta$ ). Dalam perhitungan aliran daya dikenal nama bus referensi (swing bus), bus beban (load bus) dan bus pembangkit (generator bus).

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. Jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada setiap fasanya, sedangkan pada kenyataannya beban-beban tersebut tidak seimbang, untuk hal seperti ini penyelesaiannya menggunakan komponen simetris (Nazaruddin, 2006).

Fokus penelitian ini melihat ketidakseimbangan beban antar fasa pada masing-masing bus dan membuat suatu formulasi untuk aliran daya tiga fasa. Dalam sistem tenaga listrik, studi aliran daya tiga fasa diterapkan pada sistem yang tidak seimbang. Ketidakseimbangan dapat terjadi di pembangkit, jaringan dan beban ataupun ketiganya. Studi aliran daya tiga fasa dapat digunakan pada operasi pemeliharaan dan perencanaan sistem tenaga listrik tiga fasa.

Penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan *software* aplikasi *EDSA* Tehcnical 2000 (*Electrical Distribution and Transmission System Analysis*) yaitu dengan menjalankan *object oriented unbalanced 3 phase load flow*. Studi kasus dilakukan pada Sistem Tenaga Listrik Jawa Tengah dan DIY.

## **TEORI**

### **1. Aliran Beban**

Secara umum tujuan dari analisis aliran daya adalah dimaksudkan untuk mendapatkan (Saadat, 1999) :

1. Besar dan sudut tegangan masing-masing bus sehingga bisa diketahui tingkat pemenuhan batas-batas operasi yang diperbolehkan.
2. Besar arus dan daya yang dialirkan lewat jaringan, sehingga bisa diidentifikasi tingkat pembebanannya.
3. Kondisi awal bagi studi-studi selanjutnya, seperti studi kontingensi yang sedang dibahas dalam penelitian ini.

Perhitungan aliran daya biasanya memakai mode *admittans bus* dan representasi saluran transmisi panjang menengah (*medium length line transmission*) nominal  $\phi$  lebih sesuai untuk hal ini. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi panjang nominal  $\phi$  perphase ditunjukkan pada gambar (1) impedans antara node  $i$  dan  $j$  terdiri dari impedans seri  $Z$  dan admintans paralel  $Y_{sh}$ . Admintans paralel  $Y_{sh}$  ini disebut dengan admintans pemuatan saluran (*line charging*) yang biasanya terdiri dari komponen konduktansi  $G_{sh}$  dan suseptans  $B_{sh}$ .

Sesuai dengan arah arus  $I$ , node  $i$  dianggap sebagai ujung pengirim (*sending end*) dan node  $j$  dianggap sebagai ujung penerima (*receiving end*) dan admintans paralel terbagi dua antara node  $i$  dan node  $j$  seperti pada gambar 1 besar impedans total antara kedua node adalah :

$$Z_{ij} = Z + Z_{sh} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan

$$Z_{sh} = \frac{1}{Y_{sh}}$$

Admintans total antara kedua node adalah :

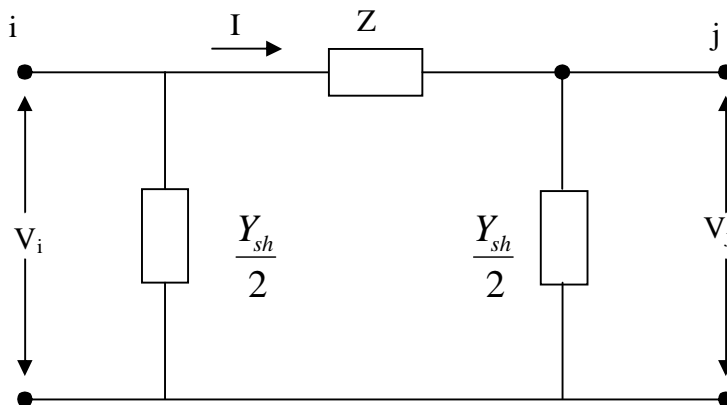
$$Y_{ij} = \frac{1}{Z_{ij}} \dots\dots\dots (2)$$

Atau

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + j |Y_{ij}| \sin \theta_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan

$G_{ij}$  dan  $B_{ij}$  masing-masing menyatakan konduktansi total dan suseptansi total antara node  $i$  dan  $j$  dan  $\theta_{ij}$  menyatakan sudut yang dibentuk oleh vektor tegangan antara node  $i$  dan  $j$ ,  $V_{ij}$  dan arus  $I$ .



Gambar 1. Rangkaian ekivalen nominal phi dari saluran transmisi

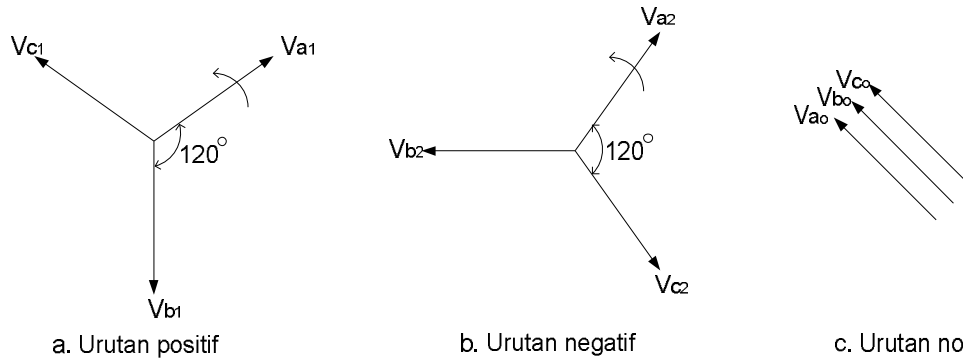
## 2. Komponen simetris

Menurut Fortescue yang menyatakan tiga fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetris (Stevenson, 1993). Komponen simetris tersebut yaitu urutan positif, negatif dan urutan nol. Himpunan komponen seimbang tersebut antara lain:

- Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
- Komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
- Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan dengan pergeseran nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Pemecahan masalah dengan menggunakan komponen simetris bahwa ketiga fasa dari sistem dinyatakan sebagai  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dengan cara yang demikian sehingga urutan fasa tegangan dan arus dalam sistem adalah  $abc$ , sehingga fasa komponen urutan positif dari fasor tak seimbang itu adalah  $abc$ , sedangkan urutan fasa dari komponen urutan negatif adalah  $acb$ . Jika fasor aslinya adalah tegangan, maka tegangan tersebut dapat dinyatakan  $V_a$ ,  $V_b$ , dan  $V_c$ . Komponen urutan positif untuk  $V_a$ ,  $V_b$ , dan  $V_c$  adalah  $V_{a1}$ ,  $V_{b1}$ , dan  $V_{c1}$ . Demikian pula komponen urutan negative adalah  $V_{a2}$ ,  $V_{b2}$ , dan  $V_{c2}$ ,

sedangkan komponen urutan nol adalah  $V_{a0}$ ,  $V_{b0}$ , dan  $V_{c0}$ . Gambar (2) menunjukkan tiga himpunan komponen simetris.



Gambar 2. Representasi komponen simetris

Tegangan tak seimbang setiap fasanya merupakan penjumlahan masing-masing komponen simetris yaitu:

$$\text{Tegangan fasa a, } V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (4)$$

$$\text{Tegangan fasa b, } V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (5)$$

$$\text{Tegangan fasa c, } V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (6)$$

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa dan bus. Selanjutnya dapat diketahui perilaku sistem jaringan dengan bantuan program aplikasi *EDSA Technical 2000* dengan menjalankan *object oriented unbalanced 3 phase load flow*, sehingga dapat diketahui besar tegangan bus, sudut fasa, daya masing-masing bus (daya aktif dan daya reaktif), arah aliran daya, aliran arus melalui cabang, rugi-rugi saluran dan tegangan jatuh.

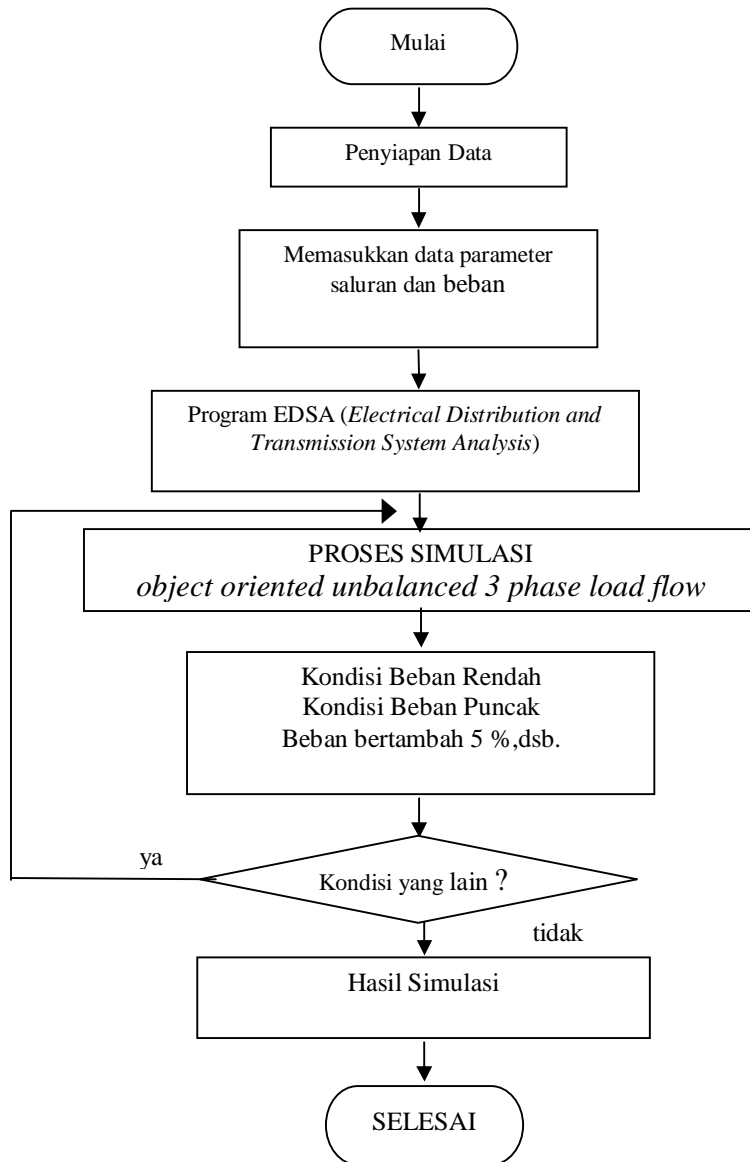
Simulasi dilakukan pada sistem tenaga listrik Jawa Tengah dan DIY yang merupakan area 3 dari sistem interkoneksi Jawa Bali. Sistem tenaga listrik Jawa tengah DIY ini mempunyai 64 Bus.

Adapun pembagian Bus sistem tenaga listrik jawa tengah dan DIY adalah seperti pada Tabel 1.

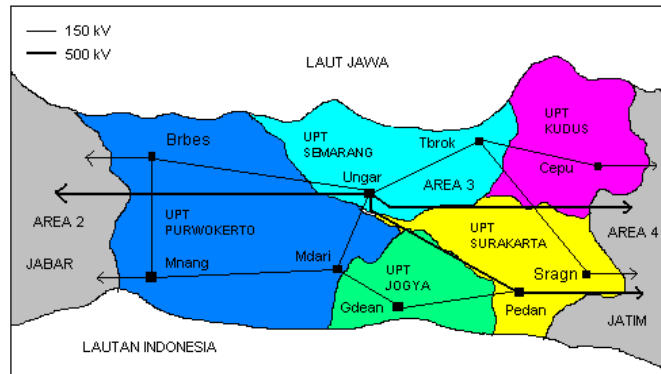
Tabel 1 Pembagian Bus Sistem Jawa Tengah DIY

No	Nama Bus	No	Nama Bus
1	Bantul	33	Palur
2	Bawen	34	Pati
3	Bdono	35	Pdlam
4	Blora	36	Pedan
5	Bmayu	37	Pklon
6	Brebes	38	Pltu clp
7	Brngi	39	Pmlng
8	Btang	40	Pwrdi
9	Cepu	41	Pwrjo
10	Dieng	42	Pyung
11	Garng	43	Rbang
12	Gbong	44	Rdrut
13	Gdean	45	Rwalo
14	Jajar	46	Scang
15	Jelok	47	Sgrah
16	Jkulo	48	Smanu
17	Jpara	49	Sragn
18	Kbmen	50	Srdol
19	Kbsen	51	Stara
20	Kdnbo	52	Swing
21	Klatn	53	Syung
22	Klbkl	54	Tbrok1
23	Klingu	55	Tbrok2
24	Klsri	56	Tjati
25	Kntung	57	Tmgng
26	Krapk	58	Ungar
27	Kudus	59	Walin
28	Lmnis	60	Wates
29	Mdari	61	Wleri
30	Mjngo	62	Wngri
31	Mnang	63	Wnsbo
32	Mrica	64	Wsari

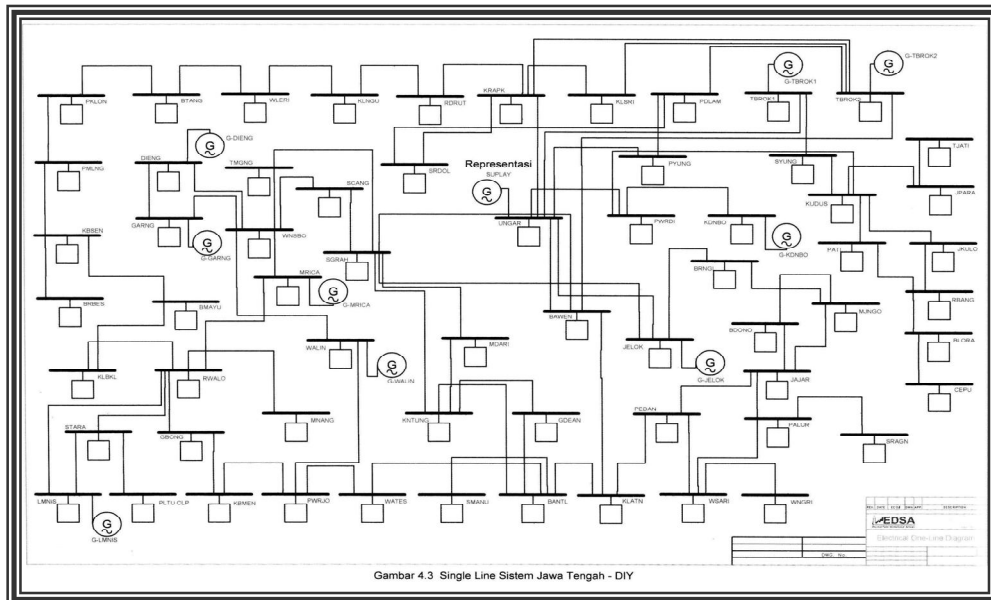
Proses simulasi seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir proses simulasi



Gambar 2. Peta Sistem 150 kV Jawa Tengah dan DIY



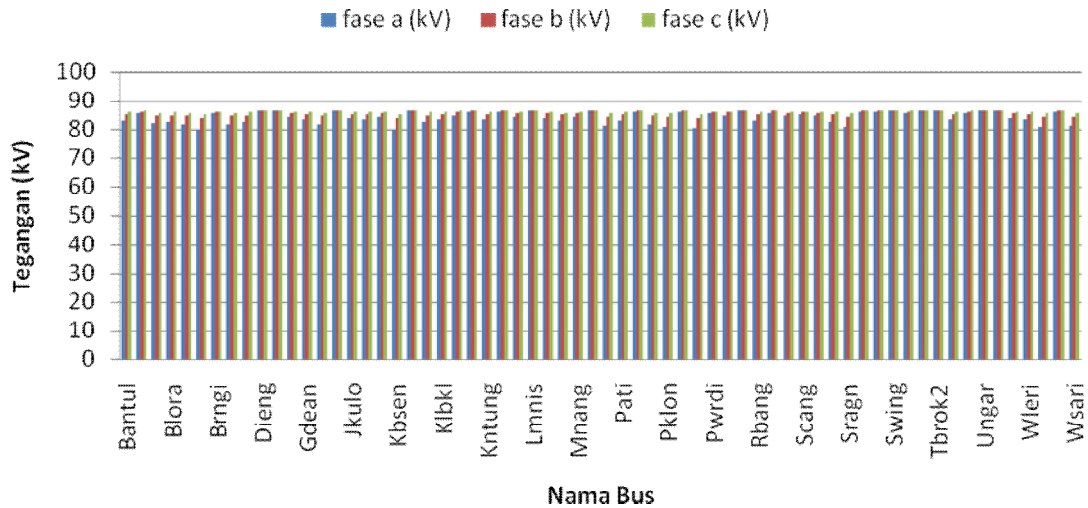
Gambar 3. Single line sistem 150 kV Jawa Tengah dan DIY

## PEMBAHASAN

Untuk skenario pertama dilakukan simulasi pada kondisi beban rendah dimana sistem hanya dibebani 50 % dari beban puncak. Ketidakseimbangan beban untuk masing-masing fasa a, fasa b dan fasa c adalah 50% , 30% dan 20%. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan *object oriented unbalanced 3 phase load flow* diperoleh tegangan untuk masing-masing fasa seperti diperlihatkan pada grafik 1.



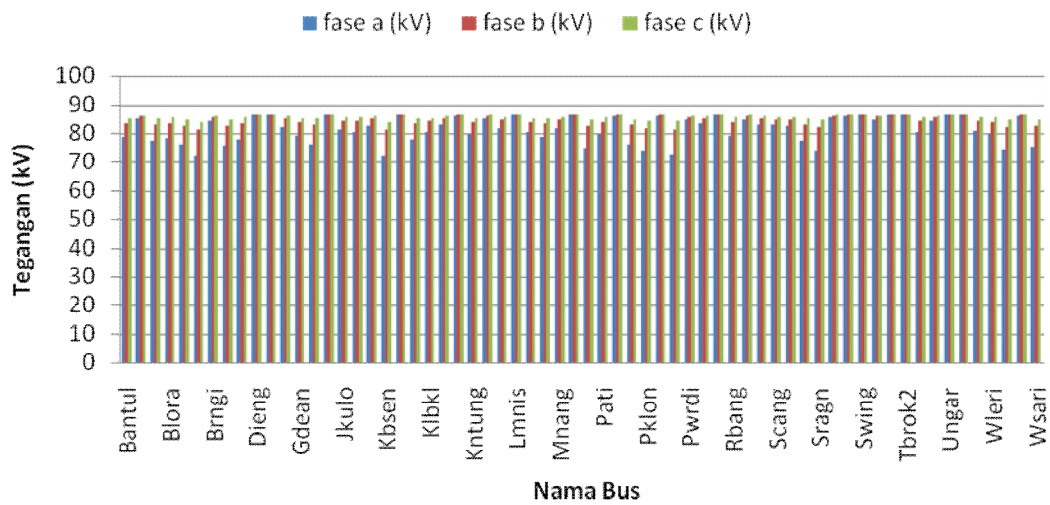
Grafik 1 Ketidakseimbangan tegangan masing-masing fasa untuk kondisi beban rendah.



Pada grafik 1 tersebut menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tegangan untuk masing-masing fasa tiap bus tidak begitu signifikan rata-rata 0,95 %

Untuk skenario kedua dilakukan simulasi pada kondisi beban puncak. Ketidakseimbangan beban untuk masing-masing fasa a, fasa b dan fasa c adalah 50% , 30% dan 20%. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan *object oriented unbalanced 3 phase load flow* diperoleh tegangan untuk masing-masing fasa seperti diperlihatkan pada grafik 2.

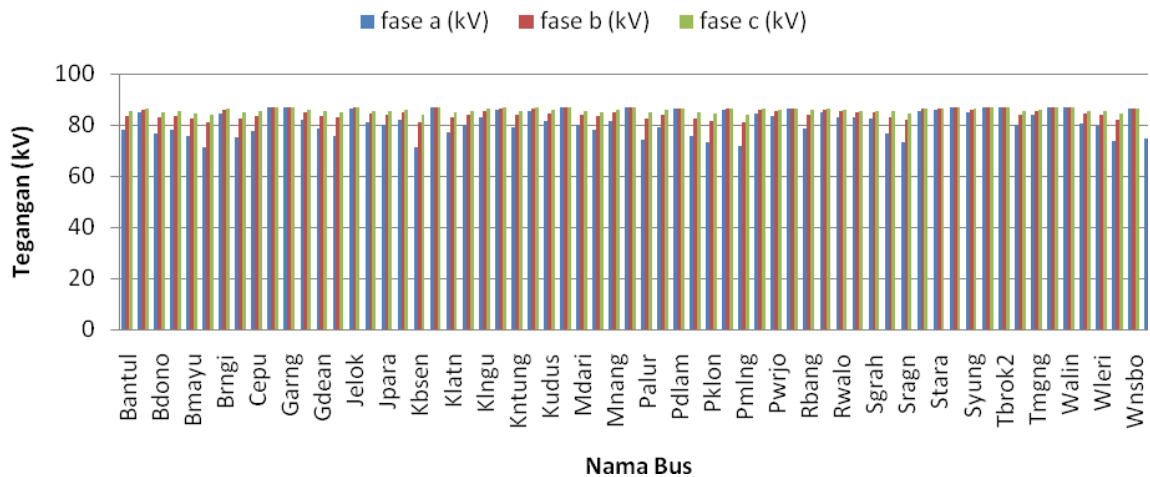
Grafik 2. Ketidakseimbangan tegangan masing-masing fasa untuk kondisi beban puncak



Pada grafik 2 tersebut menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tegangan untuk masing-masing fasa tiap bus tidak begitu signifikan rata-rata 1,98 %

Untuk skenario ketiga dilakukan simulasi pada kondisi beban ditambah 5 % beban puncak Ketidakseimbangan beban untuk masing-masing fasa a, fasa b dan fasa c adalah 50% , 30% dan 20%. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan *object oriented unbalanced 3 phase load flow* diperoleh tegangan untuk masing-masing fasa seperti diperlihatkan pada grafik 3.

Grafik 3. Ketidakseimbangan tegangan masing-masing fasa untuk kondisi beban naik 5 % dari beban puncak



Pada grafik 3 tersebut menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tegangan untuk masing-masing fase tiap bus tidak begitu signifikan rata-rata 2,08 %

## KESIMPULAN

1. Pemakaian beban yang tidak seimbang dapat menyebabkan arus saluran antar fasa tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban antara fasa menyebabkan adanya arus yang mengalir pada titik netral.
2. Dari hasil simulasi yang dilakukan diperoleh bahwa ketidakseimbangan tegangan pada masing masing fasa a, fasa b, fasa c tidak begitu signifikan untuk kondisi beban rendah rata-rata berkisar 0.95 %, untuk kondisi beban puncak rata-rata 1,98 % dan untuk kondisi beban bertambah 5 % dari beban puncak adalah rata-rata 2,08 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Goran, 2004, Modelling and Analysis of Electric Power System  
 Basri, H. 1993. “Sistem Distribusi Daya Listrik”. ISTN. Jakarta  
 Dhar, R.N, 1982, Computer Aided Power System Operation and Analysis, McGraw-Hill, New Delhi  
 Gupta, B.R, 1998, Power System Analysis and Design, Third Edition, Wheeler Publishing.  
 Grainger, J.J, William D. Stevenson,jr,1994, Power System Analysis, McGraw-Hill

- Gonen, Turan, 1988, Electric Power Transmission System Engineering (Analysis and Design), John Wiley and Sons.
- Nazaruddin, 2006, Analisis Aliran Daya Tak Seimbang Sistem Tenaga Listrik Berdasarkan Komponen Simetris, Thesis S2.
- Saadat, Hadi, 1999, Power System Analysis, McGraw-Hill
- Stagg, G.W and Ahmad H El-Abiad, 1968, Computer Methods In Power System Analysis, McGraw-Hill.
- Teng, J.H. and Chang, C.H., 2002, “ *A Novel and Fast Three Phase Load Flow for Unbalanced Radial Distribution System*”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 17, No. 4, pp. 1238-1244.