

ANALISIS ALIRAN DAYA TERHADAP DAYA TAKSEIMBANG

Ali Basrah Pulungan

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka Kampus UNP Padang 25131 Tel: +62 751 55644
E-mail: alibp@ft.unp.ac.id

Abstrak

Pembahas artikel tentang analisis aliran daya tiga fase tidak seimbang, fokus utamanya untuk mengetahui besar tegangan, arus dan daya masing-masing fase pada setiap bus dan saluran. Ketidakseimbangan sistem tiga fase salah satu penyebabnya adalah beban yang tidak seimbang.

Pada kasus ini, ketidakseimbangan sistem tiga fase dilakukan dengan membuat simulasi beban tidak seimbang pada sistem 14 bus IEEE. Simulasinya dikerjakan menggunakan software EDSA dengan menjalankan unbalanced power flow analysis.

Hasil simulasi aliran daya tiga fase tidak seimbang menunjukkan perbedaan besar tegangan, arus dan daya pada masing-masing fase. Besarnya ketidakseimbangan beban antara 0,99%-21,99% akan menyebabkan ketidakseimbangan tegangan pada bus antara 0,10%-1,38%. Persentase total masing-masing arus fase a, b dan c seluruh saluran berturut-turut adalah 27,55%, 32,92% dan 39,53%. Persentase daya aktif total masing-masing fase a, b and c adalah 32,83%, 33,15% dan 34,02%, sedangkan daya reaktifnya 32,81%, 32,74% dan 34,44% untuk fase a, b dan c berturut-turut.

Kata kunci : aliran daya tiga fase, beban tidak seimbang

Abstrac

Discussant article on three-phase power flow analysis is not balanced, its main focus to find out the voltage, current and power of each phase at each bus and channels. The imbalance of three phase systems one reason is the unbalanced load.

In this case, the imbalance of the three-phase system is done by creating a simulated unbalanced load on the 14 bus IEEE system. Simulations was done using the software to run EDSA Unbalanced power flow analysis.

The simulation results of three-phase power flow out of balance shows the difference of the voltage, current and power in each phase. The amount of load imbalance between 0.99% -21.99% will cause an imbalance in the bus voltage between 0.10% -1.38%. Percentage of total current of each phase a, b and c, all channels are respectively 27.55%, 32.92% and 39.53%. Percentage of total active power of each phase a, b and c are 32.83%, 33.15% and 34.02%, while the reactive power 32.81%, 32.74% and 34.44% for phase a, b and c respectively.

Key words: three-phase power flow, unbalanced load

1. Pendahuluan

Aliran daya adalah suatu *tool* penting dalam studi perencanaan, operasi dan pengaturan operasi sistem tenaga. Algoritma aliran daya fase tunggal diasumsikan sebagai model sistem tenaga seimbang, yaitu parameter-parameter masing-masing fase dan intraksi yang terjadi antar fase identik untuk semua fase,

pembangkitan tenaga listrik dan kebutuhan akan tenaga listrik di berbagai tempat terdistribusi melalui masing-masing fase dengan besar yang sama.

Analisis aliran daya tiga fase telah banyak dibahas sebelumnya dengan beberapa metode, diantaranya : metode Bus-impedans, metode Newton-Raphson, metode *Fast-*

decoupled, metode Gauss-Seidal, metode Hibrid, metode Bus-admitans dan *decoupling-compensation*[1]. Hal ini disebabkan meningkatnya perhatian terhadap sistem tiga fase takseimbang.

Ada dua kondisi yang memungkinkan sistem menjadi tidak seimbang [2]. Salah satunya adalah jaringan yang tidak simetris yang disebabkan oleh saluran transmisi yang tidak ditransposisi, perbedaan ratio tap masing-masing fase pada transformator tiga fase, atau operasi abnormal akibat lepasnya salah satu fase. Kondisi lainnya adalah ketidak seimbangan beban yang diakibatkan oleh konsumen. Pada akhirnya akan menimbulkan ketidakseimbangan aliran daya.

Analisis sistem tiga fase 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 [3].

Berbeda halnya dengan saluran transmisi tiga fase takseimbang, yang salah satunya disebabkan beban yang tidak seimbang. Analisis sistem tenaga tiga fase tidak dapat lagi diselesaikan dengan fase tunggal, hal ini disebabkan adanya perbedaan impedans bersama antara fase, sehingga arus pada setiap fase akan berbeda dan aliran daya pada masing-masing fase juga berbeda.

Ketidakseimbangan arus akan menimbulkan masalah yang serius, arus urutan negatif dapat menyebabkan pemanasan lebih pada mesin-mesin listrik sedangkan arus urutan nol dapat menyebabkan gangguan pada operasi relay proteksi. Arus urutan nol yang besar akan menyebabkan pengaruh induktans bersama antar saluran transmisi meningkat [4].

2. Transformasi Spesifikasi Bus Tiga Fase ke Satu Fase

Pada studi aliran daya tiga fase bus-bus pada jaringan diklasifikasikan sebagai *slack bus*, *PV bus* dan *PQ bus*, spesifikasi bus tiga fase dapat ditransformasikan menjadi spesifikasi bus 1 fase

Slack bus: Pada *slack bus*, urutan positif nilai (*magnitude*) tegangan dan sudut adalah ditentukan (*specified*).

$$V_1^{\text{Slack bus}} = V_1^{\text{Specified}} \angle \theta_1^{\text{Specified}} \quad (1)$$

PV bus (Voltage controlled Bus): PV bus adalah bus generator yang mana nilai tegangan total daya aktif tiga fase yang dibangkitkan adalah ditentukan (*specified*).

$$\begin{aligned} V_1^{\text{PV Bus}} &= V_1^{\text{Specified}} \\ P_{\Sigma}^{\text{PV Bus}} &= P_{\Sigma}^{\text{Specified}} \end{aligned} \quad (2)$$

Σ adalah total daya tiga fase, daya aktif tiga fase dapat diartikan sebagai tiga komponen urutan, yaitu urutan positif, negatif dan nol dari tegangan terminal generator dan arus.

PQ bus (Bus beban): Pada beban takseimbang, daya *specified* ditentukan untuk masing-masing fase sebagai

$$S_m^{\text{Specified}} = P_m^{\text{Specified}} + jQ_m^{\text{Specified}} \quad m = a \text{ atau } b \text{ atau } c \quad (3)$$

3. Model Matematis Aliran Daya Tiga Fase Takseimbang

Model matematis aliran daya Newton-Raphson tiga fase takseimbang berdasarkan komponen urutan dapat dituliskan sebagai urutan positif [5], yaitu

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_i & N_i \\ J_i & L_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

$\begin{bmatrix} H_i & N_i \\ J_i & L_i \end{bmatrix}$ adalah matrik Jacobian urutan positif
Selisih daya urutan positif pada bus *i* adalah

$$\begin{aligned} \Delta P_{i-1} &= P_{i-1}^{\text{Specified}} - P_{i-1}^{\text{Calculated}} \\ \Delta Q_{i-1} &= Q_{i-1}^{\text{Specified}} - Q_{i-1}^{\text{Calculated}} \end{aligned} \quad (5)$$

dengan

$$P_{i-1}^{\text{Specified}} = P_{i-1, \text{Load}_1}^{\text{Specified}} \quad (6)$$

$$Q_{i-1}^{\text{Specified}} = Q_{i-1, \text{Load}_1}^{\text{Specified}}$$

Daya terhitung (*calculated*) urutan positif pada N bus sistem tenaga adalah

$$P_{i-1}^{\text{Calculated}} = \sum_{j=1}^N |V_{i-1}| |V_{j-1}| |Y_{ij-1}| \cos(\delta_{ij-1} - \theta_{i-1} + \theta_{j-1})$$

$$Q_{i-1}^{\text{Calculated}} = - \sum_{j=1}^N |V_{i-1}| |V_{j-1}| |Y_{ij-1}| \sin(\delta_{ij-1} - \theta_{i-1} + \theta_{j-1}) \quad (7)$$

$$V_{i-1} = |V_{i-1}| \angle \theta_{i-1} \quad (8)$$

Tegangan urutan negatif dan tegangan urutan nol dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Y_2 V_2 = I_2 \quad (9)$$

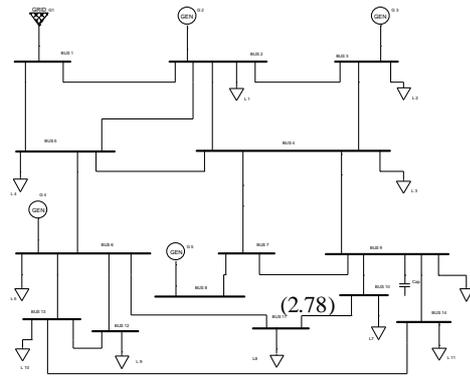
$$Y_0 V_0 = I_0 \quad (10)$$

4. Studi Kasus

Pengujian kasus ini dilakukan dengan membuat simulasi aliran daya takseimbang yang disebabkan oleh beban tidak seimbang. Persentase ketidakseimbangan beban masing-masing fase seperti pada Tabel 1. Simulasi dilakukan menggunakan *software EDSA* dengan menjalankan *unbalanced power flow analysis* pada sistem IEEE 14 bus[6], konfigurasi jaringannya ditunjukkan pada Gbr 3.

Tabel. 1 – Data beban takseimbang

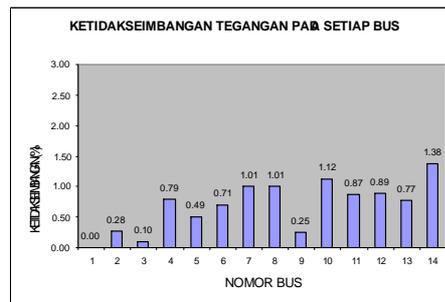
No. Bus	Nama Beban	Beban (%)		
		Fase a	Fase b	Fase c
2	L1	31	33	36
3	L2	36	31	33
4	L3	28	34	38
5	L4	35	35	30
6	L5	38	28	34
9	L6	26	35	39
10	L7	33	33	34
11	L8	39	30	31
12	L9	29	34	37
13	L10	34	38	28
14	L11	28	37	35



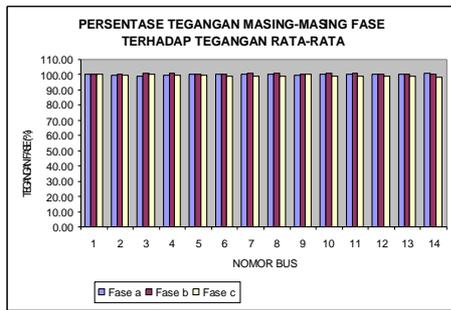
Gbr. 1 – Konfigurasi jaringan IEEE 14 bus

5. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya dilakukan secara grafik. Gbr. 2 menunjukkan ketidakseimbangan tegangan pada setiap bus untuk masing-masing fase. Berdasarkan IEEE std. 141-1993 (revisi IEEE std. 141-1986) [7] bahwa persentase ketidakseimbangan paling besar terjadi pada bus 14 yaitu 1.38%, persentase masing-masing fase a, b dan c adalah 100.79%, 100.59%, 98.62%. Sedangkan untuk bus 1 fase a, b dan c seimbang yaitu 100.00%, 100.00% dan 100.00%, Gbr 3.



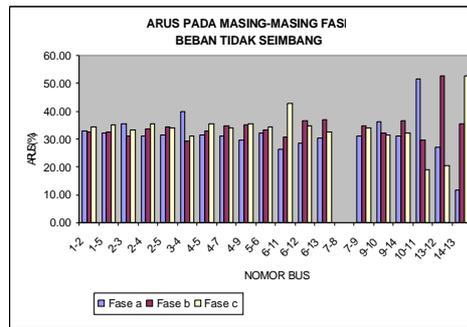
Gbr. 2 – Ketidakseimbangan tegangan setiap bus



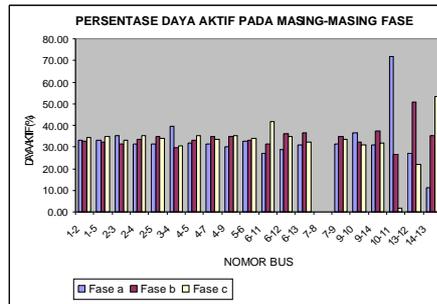
Gbr. 3 – Tegangan bus pada masing-masing fase

Perbedaan arus pada masing-masing fase terjadi pada semua saluran, perbedaan yang paling besar yaitu antara bus 14-13. Pada bus 14-13 besarnya persentase arus fase a, b dan c yaitu 11.59% , 35.58% dan 52.83%, arus pada fase a merupakan persentase arus minimum, sedangkan persentase arus maksimumnya pada fase c juga antara bus 14-13 sebesar 52.83%. Persentase arus total masing-masing fase a, b dan c adalah 27.55%, 32.92% dan 39.53%. Gbr. 4.

Ketidakeimbangan daya aktif pada masing-masing fase identik dengan ketidakeimbangan arus masing-masing fase untuk beban tidak seimbang. Perbedaan daya aktif pada masing-masing fase terjadi pada semua saluran, perbedaan yang paling besar yaitu antara bus 10-11 yang besarnya berturut-turut fase a, b dan c yaitu 71.69%, 26.61% dan 1.70%. daya aktif pada fase c ini juga merupakan persentase minimum, sedangkan persentase maksimumnya pada fase a juga antara bus 10-11. Daya aktif total masing-masing fase a, b and c adalah 32.83%, 33.15% dan 34.02%. Gbr. 5.



Gbr. 4 – Arus masing-masing fase



Gbr. 5 – Daya aktif masing-masing fase

Gbr. 6 menggambarkan daya reaktif pada masing-masing fase untuk beban tidak seimbang. Ketidakeimbangan daya reaktif masing-masing fase terjadi pada semua saluran dan mempunyai persentase ketidakeimbangan yang relatif besar. Persentase ketidakeimbangan yang terbesar terjadi antara bus 6-11 dan 13-12, yaitu sebesar 5.08%, 23.02% dan 71.89% untuk fase a, b dan c antara bus 6-11, antara bus 13-12 adalah 27.34%, 71.10% dan 1.55% untuk fase a, b dan c. Daya reaktif total 32.81%, 32.74% dan 34.44% berturut-turut untuk fase a, b dan c.

6. Kesimpulan

Besarnya ketidakeimbangan tegangan masing-masing fase pada setiap bus dipengaruhi oleh hubungan bus tersebut

dengan saluran dan beban. Ketidakseimbangan arus dan daya masing-masing fase setiap saluran dipengaruhi hubungan antar bus.

Hasil simulasi aliran daya tiga fase tidak seimbang menunjukkan perbedaan besar tegangan, arus dan daya pada masing-masing fase. Besarnya ketidakseimbangan beban antara 0,99%-21,99% akan menyebabkan ketidakseimbangan tegangan pada bus antara 0,10%-1,38%. Persentase total masing-masing arus fase a, b dan c seluruh saluran berturut-turut adalah 27,55%, 32,92% dan 39,53%. Persentase daya aktif total masing-masing fase a, b dan c adalah 32,83%, 33,15% dan 34,02%, sedangkan daya reaktifnya 32,81%, 32,74% dan 34,44% untuk fase a, b dan c berturut-turut.

Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (Red Book) , New York.

Referensi

- [1] Zhang, P.X., "Fast Three Phase Load Flow Methods", IEEE Transactions on Power System, Vol. 11, No. 2, 1547-1554, Agustus 1996.
- [2] Lo, K. L. dan Zhang, C., "Decomposed three-phase power-flow solution Using the Sequence component Frame" IEEE Proceedings-C, Vol. 140, No. 3, 181-188, May 1993.
- [3] Zhong, S. dan Abur, A., "Effects of Non-transposed Lines and Unbalanced Loads on State Estimation" IEEE, 0-7803-7322-7/02, 975-979, 2002.
- [4] Birt, K.A., Graffy, J.J., McDonald, J.D. dan El-Abiad, A.H., "Three Phase Load Flow Program" IEEE Transactions on Power apparatus and sistem, Vol. PAS -95, No. 1, 59-65, 1976.
- [5] Abdel-Akher, M., Nor, K. M. dan Rashid, A. H. A., "Improved Three-phase Power Flow Methods Using Sequence Components" IEEE Transactions on Power sistem, Vol. 20, No. 3, 1389-1397. 2005
- [6] Pai, M.A., "Computer Techniques in Power Sistem Analysis" Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1984.
- [7] IEEE Std. 141-1993 (Revision of IEEE Std 141-1986), "IEEE Standard Recommended