

# ANALISIS PENGATURAN TEGANGAN GENERATOR SINKRON TIGA FASA HUBUNGAN BINTANG AKIBAT PEMBEBANAN TIDAK SEIMBANG

Remigius Tandioga, Marhatang<sup>1)</sup>, Twenty Tri Rante Payung, Husnul Khatimah<sup>2)</sup>,

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaturan tegangan pada generator sinkron tiga-fasa akibat pembebanan yang tidak seimbang. Pada penelitian ini digunakan beban variabel:  $R = 25 - 150 \Omega$ ,  $L = 83 - 382 \text{ mH}$  dan  $C = 21 - 106 \mu\text{F}$ . Dengan asumsi bahwa beda sudut-fasa dari fasor-fasor arus fasa ( $I_{ph}$ ) adalah seimbang sementara besar atau *magnitudenya* tidak seimbang maka diperoleh bahwa perubahan pengaturan tegangan ( $\Delta VR$ ) akan mengikuti pola perubahan arus fasa ( $\Delta I_{ph}$ ) pada beban seimbang. Hasil penelitian menunjukkan pula bahwa pada beban tidak seimbang, maka perubahan faktor ketidak-seimbangan ( $\Delta UF$ ) mengikuti pola perubahan arus dalam salah satu fasa, sementara perubahan pengaturan tegangan mengikuti pola perubahan arus fasa yang bersangkutan. Pada beban resistif tidak seimbang, hanya VR pada fasa A yang berelasi linier dengan UF melalui persamaan  $VR = -52,014 + 2,571 UF$ , yang dalam hal ini VR dan UF dinyatakan dalam %. Begitupun dengan beban R-L seri yang tidak seimbang, yang dalam hal ini hanya VR pada fasa A yang berelasi linier dengan UF melalui persamaan  $VR = -24,955 + 2,08 UF$ . Sementara itu, tidak ada hubungan yang tepat antara UF dan VR pada beban-beban tidak seimbang untuk hubungan R-L paralel, R-C seri dan R-L-C seri sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaturan tegangan tidak bergantung pada faktor ketidak-seimbangan beban.

**Kata Kunci:** Generator, beban, pengaturan tegangan.

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat umum digunakan bagi masyarakat secara luas. Penggunaan energi listrik tidak sekedar terbatas pada daerah atau konsumen kelas atas, namun energi listrik juga dikonsumsi oleh masyarakat menengah dan bawah. Bahkan kegiatan pedesaan juga ditunjang oleh ketersediaan pasokan listrik.

Generator sinkron tiga fasa merupakan sumber utama pembangkit daya listrik yang sudah tidak asing lagi dalam dunia kelistrikan. Hampir seluruh sistem pembangkit tenaga listrik di dunia ini menggunakan generator sinkron sebagai sumber daya listrik, kecuali pada pembangkit dengan tujuan dan kondisi tertentu.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Generator sinkron bekerja dengan mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa.

Konstruksi umum dari suatu generator sinkron adalah rotor atau bagian yang berputar, stator atau bagian yang diam, dan celah udara antara stator dan rotor. Di samping itu juga perlu rangkaian eksitasi sebagai penghasil tegangan induksi pada terminal jangkar. Generator tiga fasa dituntut untuk bekerja stabil (tegangan dan frekuensi yang dihasilkan tetap stabil). Salah satu penyebab alternator bekerja tidak stabil adalah faktor daya dari beban yang dipikul yang mana hal itu mempengaruhi arus beban. Beban yang dipikul alternator dapat bersifat resistif, induktif, dan kapasitif, yang mana ketiga beban tersebut memiliki faktor daya yang berbeda.

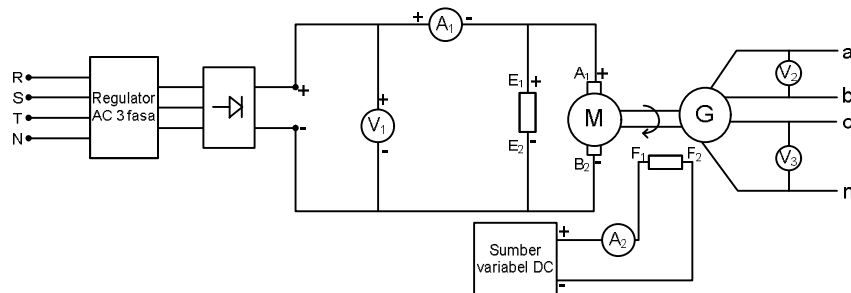
Tegangan generator sinkron dalam keadaan berbeban akan lebih rendah nilainya daripada tegangan generator sinkron dalam keadaan tanpa beban. Bila generator diberi beban yang berubah-ubah dan terjadi ketidakseimbangan beban maka diduga tegangan tidak akan stabil. Ketidakstabilan tegangan sangat berpengaruh terhadap beban terutama beban elektronik. Perubahan beban yang dilayani oleh generator sinkron akan mempengaruhi tegangan sehingga menyebabkan perubahan pengaturan tegangan.

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui hubungan antara ketidakseimbangan beban dengan pengaturan tegangan, baik beban resistif, induktif, dan kapasitif serta untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap pengaturan tegangan.

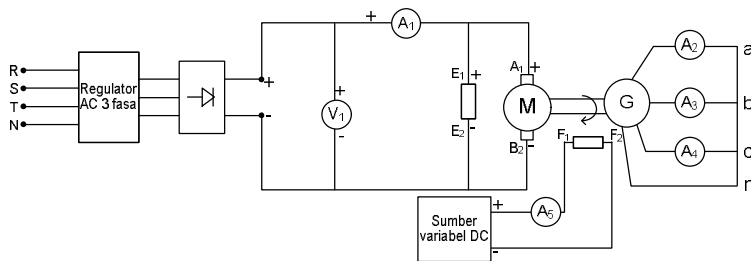
## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilakukan dalam dua tahap, yaitu dimulai dengan tahap pengujian kemudian dilanjutkan dengan analisa hasil pengujian.

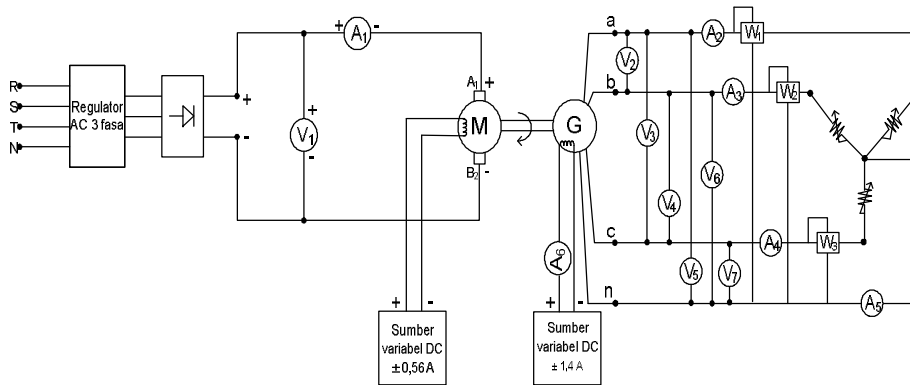
Pada penelitian ini dilakukan variasi beban dengan menggunakan tiga jenis beban, yaitu: beban resistif, kapasitif, dan induktif pada kondisi beban seimbang maupun tidak seimbang.



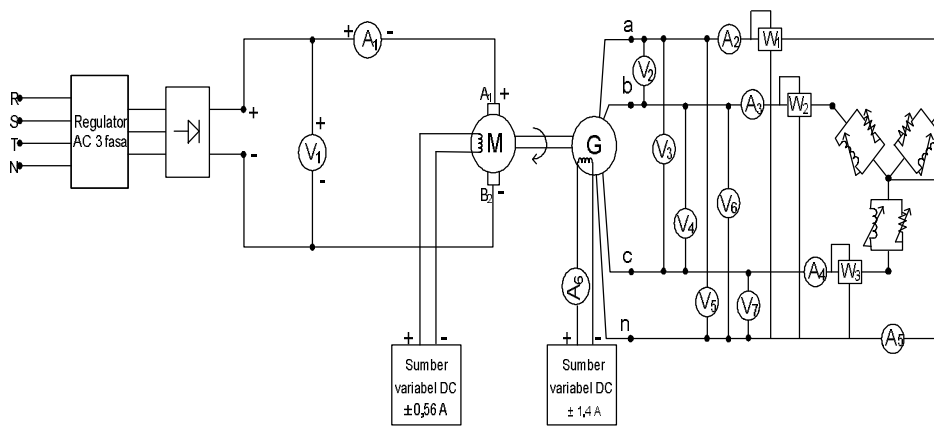
Gambar 1. Rangkaian pengujian beban nol



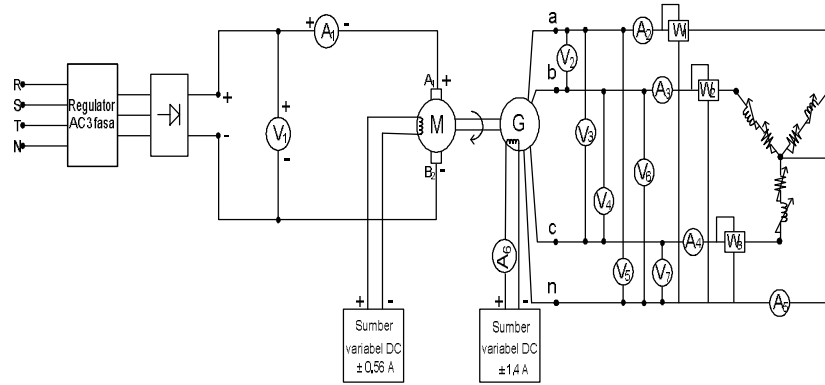
Gambar 2. Rangkaian pengujian hubung singkat



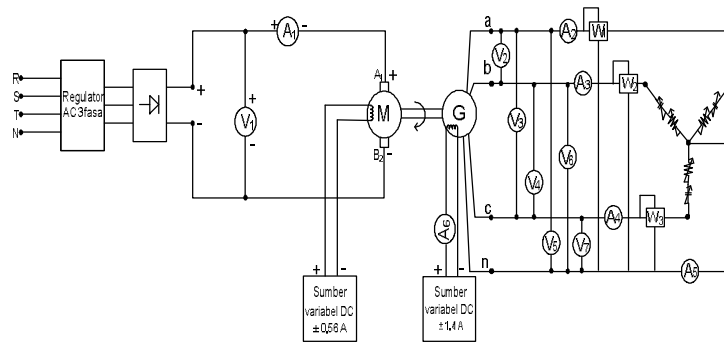
Gambar 3. Rangkaian pengujian berbeban resistif



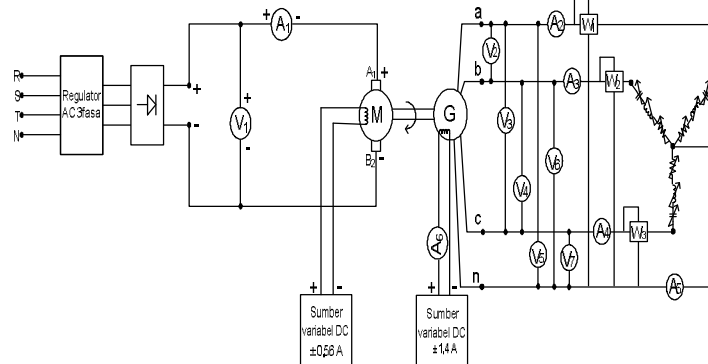
Gambar 4. Rangkaian pengujian berbeban resistif dan induktif hubungan parallel



Gambar 5. Rangkaian pengujian berbeban resistif dan induktif hubungan seri



Gambar 6. Rangkaian pengujian berbeban resistif dan kapasitif hubungan seri

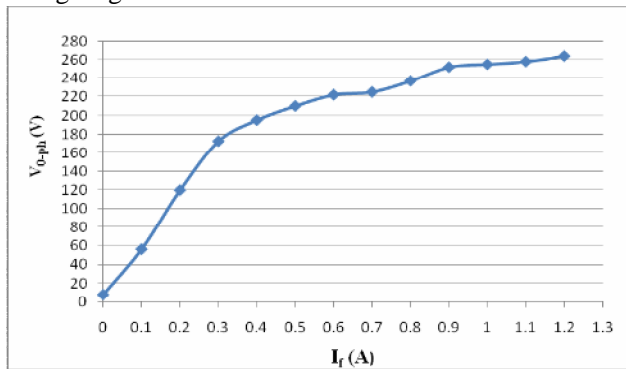


Gambar 7. Rangkaian pengujian berbeban resistif, induktif, dan kapasitif hubungan seri

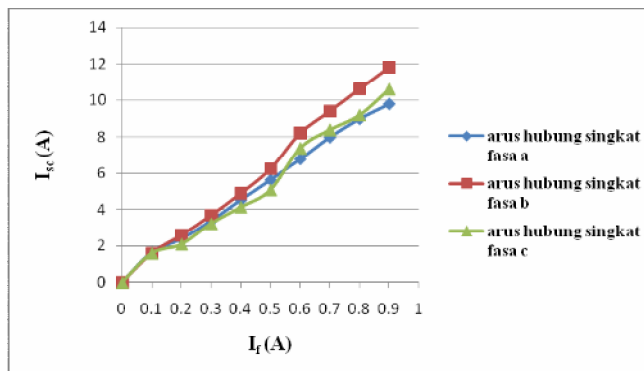
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pengujian dilakukan secara langsung pada generator sinkron tiga fasa.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh karakteristik beban nol dan karakteristik hubung singkat.



Gambar 8. Karakteristik beban nol generator sinkron tiga fasa



Gambar 9. Karakteristik hubung singkat generator sinkron tiga fasa

Pada Gambar 8. tampak inti mulai mengalami saturasi pada nilai tegangan induksi saat beban nol ( $E_0$ ) sebesar 252 volt dengan arus eksitasi ( $I_f$ ) sebesar 0,9 Ampere. Dari Gambar 9. Pada arus eksitasi yang sama diperoleh arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) sebesar 10,73 Ampere.

Maka nilai impedansi sinkron ( $Z_s$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Z_s &= \frac{E_0}{I_{sc}} \\ &= \frac{252 \text{ Volt}}{10,73 \text{ Ampere}} \\ &= 23,48 \Omega \end{aligned}$$

dan reaktansi sinkron ( $X_s$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} X_s &= \sqrt{Z_s^2 - R_a^2} \\ &= \sqrt{(23,48 \Omega)^2 - (1,76 \Omega)^2} \\ &= 23,41 \Omega \end{aligned}$$

### 1. Perhitungan Pengaturan Tegangan (Regulasi Tegangan) Berdasarkan Metode Impedansi Sinkron

Regulasi tegangan generator sinkron dapat kita peroleh dengan menghitung nilai impedansi dari generator berdasarkan percobaan beban nol dan hubung singkat. Setelah memperoleh nilai  $R_a$  dan  $X_s$  maka nilai  $E_0$  dapat dihitung diperoleh dengan menggunakan persamaan:

- Untuk beban resistif  $\cos \phi$  unity

$$E_0 = \sqrt{(V_t + I_a R_a)^2 + (I_a X_s)^2}$$

- Untuk beban  $\cos \phi$  lagging

$$E_0 = \sqrt{(V_t \cos \phi + I_a R_a)^2 + (V_t \sin \phi + I_a X_s)^2}$$

- Untuk beban  $\cos \phi$  leading

$$E_0 = \sqrt{(V_t \cos \phi + I_a R_a)^2 + (V_t \sin \phi - I_a X_s)^2}$$

Sehingga regulasi tegangan dapat diperoleh:

$$VR = \frac{E_0 - V_t}{V_t} \times 100 \%$$

Nilai regulasi tegangan berbeda-beda untuk setiap fasanya sehingga dihitung untuk setiap fasa.

### 2. Perhitungan Faktor Ketidakseimbangan Beban

Standar definisi faktor ketidakseimbangan atau Unbalance Factor (UF) yang dipakai yaitu standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) dimana *Unbalance Factor* (UF) didefinisikan dalam persamaan berikut ini:

$$UF = \frac{I_{a2}}{I_{a1}} \times 100\%$$

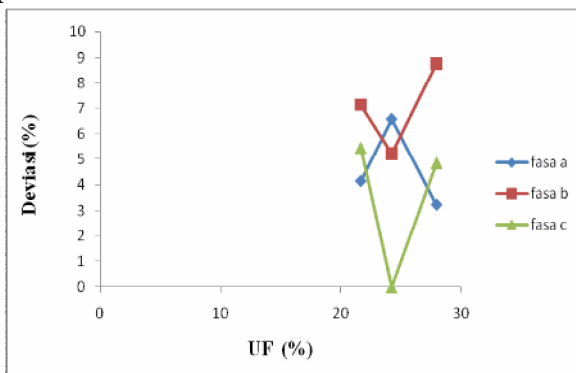
Dimana:

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

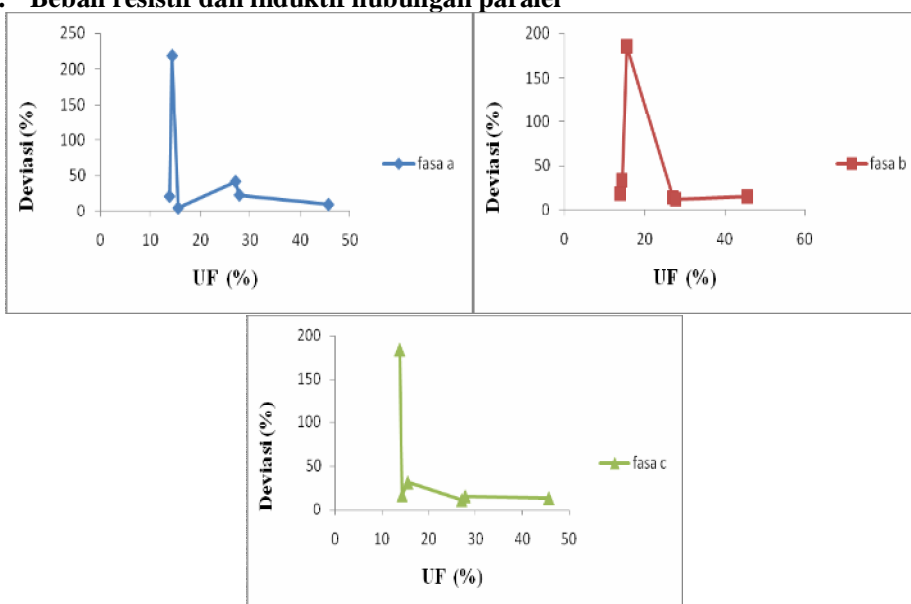
Dari hasil pengambilan data dan hasil perhitungan pada penelitian maka dapat dilihat pengaruh faktor ketidakseimbangan terhadap deviasi regulasi tegangan berdasarkan variasi beban yang digunakan:

**1. Beban resistif**



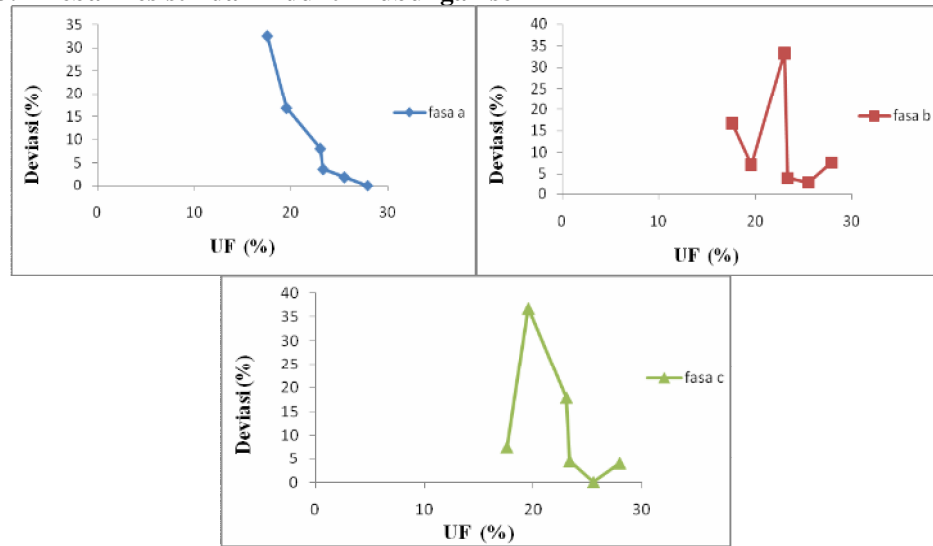
Gambar 10. Grafik pengaruh faktor ketidakseimbangan berdasarkan fasor arus terhadap deviasi regulasi tegangan beban resistif

**2. Beban resistif dan induktif hubungan paralel**



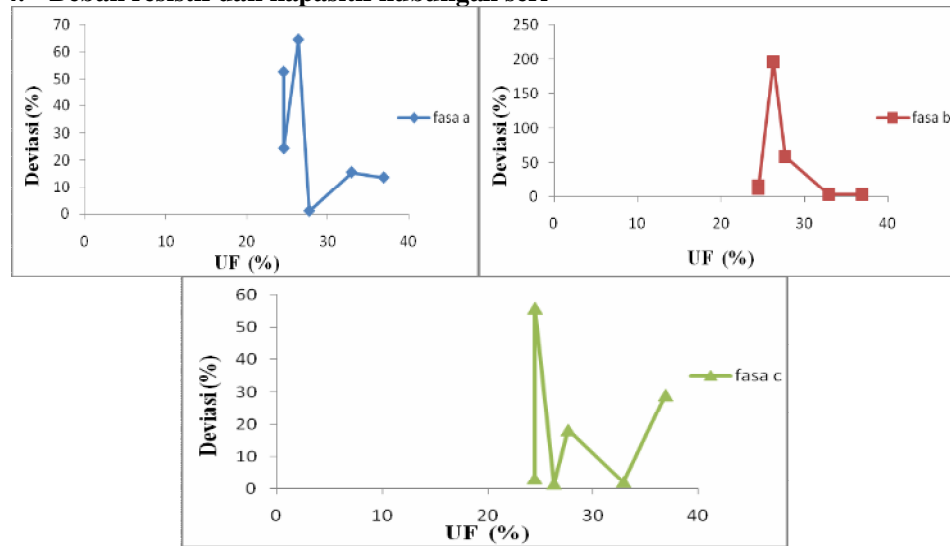
Gambar 11. Grafik pengaruh faktor ketidakseimbangan berdasarkan fasor arus terhadap deviasi regulasi tegangan beban resistif dan induktif hubungan paralel

**3. Beban resistif dan induktif hubungan seri**



Gambar 12. Grafik pengaruh faktor ketidakseimbangan berdasarkan fasor arus terhadap deviasi regulasi tegangan beban resistif dan induktif hubungan seri

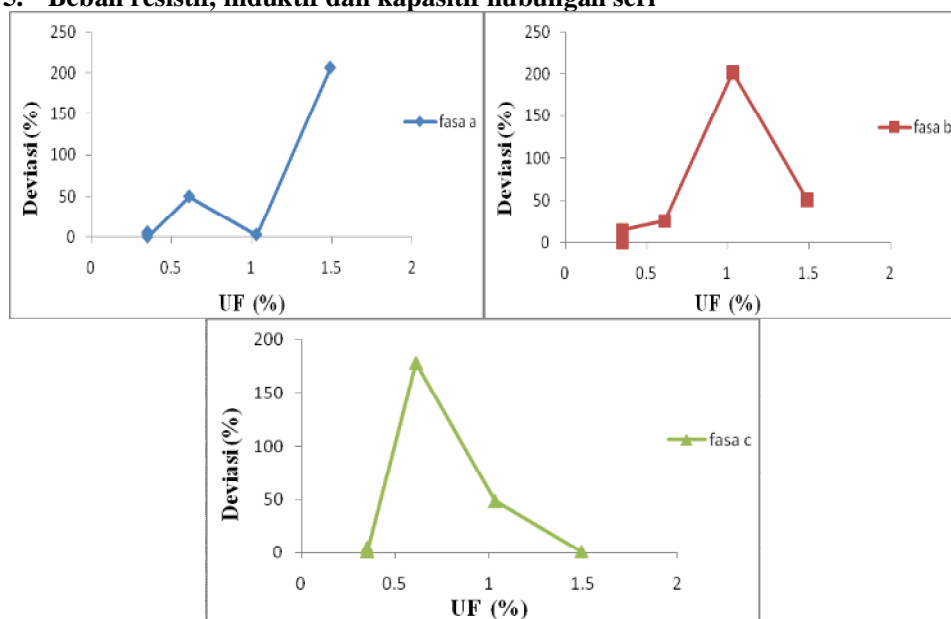
**4. Beban resistif dan kapasitif hubungan seri**



Gambar 13. Grafik pengaruh faktor ketidakseimbangan berdasarkan fasor arus terhadap deviasi regulasi tegangan beban resistif dan kapasitif hubungan seri



### 5. Beban resistif, induktif dan kapasitif hubungan seri



Gambar 14. Grafik pengaruh faktor ketidakseimbangan berdasarkan fasor arus terhadap deviasi regulasi tegangan beban resistif, induktif dan kapasitif hubungan seri

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

1. Regulasi tegangan pada kombinasi paralel beban resistif dan induktif lebih besar daripada beban resistif, kombinasi seri beban resistif dan induktif, kombinasi seri beban resistif dan kapasitif, maupun kombinasi seri beban resistif, induktif, dan kapasitif. Hal ini disebabkan semakin besar arus beban yang diberikan pada kombinasi paralel beban resistif dan induktif maka semakin besar pula jatuh tegangan terminalnya begitu pula pada beban resistif namun tegangan terminalnya tidak sebesar pada kombinasi paralel beban resistif dan induktif, sedangkan pada kombinasi seri beban resistif dan kapasitif memiliki nilai regulasi tegangan yang negatif dimana kenaikan arus beban mengakibatkan kenaikan tegangan terminal dan begitu pula untuk kombinasi seri beban resistif, induktif, dan kapasitif.
2. Pada kondisi arus yang sama dengan faktor daya yang berbeda, semakin besar nilai faktor daya maka semakin kecil nilai regulasi tegangan maupun nilai faktor ketidakseimbangan beban.

179 Remigius Tandioga, Marhatang, Twenty Tri Rante Payung, Husnul Khatimah, Analisis Pengaturan Tegangan Generator Sinkron Tiga Fasa Hubungan Bintang Akibat Pembebanan Tidak Seimbang

## **B. Saran**

1. Untuk penyempurnaan penelitian ini, sebaiknya dilakukan dengan menggunakan alat ukur faktor daya. Hal ini disarankan guna membandingkan antara nilai faktor daya berdasarkan perhitungan secara teori dengan hasil pengukuran.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan generator yang dihubungkan delta.

## **V. DAFTAR PUSTAKA**

Fitzgerald, A. E. 1997. *Mesin – Mesin Listrik*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.

Faisal, Ahmad. 2011. *Analisa Perbandingan Pengaruh Pembebanan Resistif, Induktif, Kapasitif dan Kombinasi Beban RLC Terhadap Regulasi Tegangan dan Efisiensi pada Generator Sinkron Tiga Fasa*, (Online), (<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/29040>).

Gupta, A. P. 1978. *Worked Examples in Electrical Power*. Second Edition. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co.

Hirst, A. W. 1947. *Introduction to Electrical Machines*. Second Edition. London: Blackie and Son Limited.

Hutagalung, F. D. 2010. *Pengaruh Pembebanan Tidak Seimbang Terhadap Rugi-Rugi dan Efisiensi Generator Sinkron Tiga Fasa*, (Online), (<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/20111>).

Kabisama, H. W. 1993. *Electrical Power Engineering*. New York: Mc Graw – Hill, Inc.

Lase, E. F. 2011. *Pengendalian Tegangan Terminal Generator Sinkron Terhadap Perubahan Arus dan Faktor Daya Beban*, (Online), (<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/31051>).

Lumbanraja, Hotdes. 2008. *Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa Hubungan Open-Delta*, (Online), (<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/11808>).

Siskind, C. S. 1983. *Electrical Machines (Direct & Alternating Current)*. Second Edition. Sydney: Mc Graw – Hill International Book Company.

Stevenson, W. D. Jr. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.

Theraja, B. L. 1980. *A Text – Book of Electrical Technology (S. 1. Units)*. 17th Revised Edition. New Delhi: Publication Division Of Nirja Construction & Development Co. (P) Ltd.

<http://www.scribd.com/doc/110053046/Generator-Sinkron>, diakses pada tanggal 14 oktober 2013.

<http://generatoracdc.blogspot.com/>, diakses pada tanggal 14 oktober 2013.