

**ANALISIS PENGUJIAN PERUBAHAN DAN PERBAIKAN TEGANGAN PADA
PEMBEBANAN GENERATOR SINKRON DI LAB. KONVERSI ENERGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO**

Nopri Aristo Samuel Lumondo¹, Aldi Carlis Mandagi², Maruto Swatara Loegimin³,
Nathaniel Bijang⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Manado

¹nopriilumondo@gmail.com, ²aldicarlismandagi@gmail.com,

³marutoswatara04@gmail.com, ⁴natanpolimdo@gmail.com

ABSTRACT

A synchronous generator is a machine that converts mechanical energy into electrical energy, where the rotor speed is synchronized with the frequency of the generated voltage. Therefore, its existence plays a crucial role in maintaining service continuity. This study was conducted in the Energy Conversion Laboratory of Politeknik Negeri Manado, using a synchronous generator as the main object of investigation. One of the factors affecting its characteristics is the variation in generator load. In this research, an analysis was carried out on the voltage changes in a synchronous generator under varying load conditions, as well as efforts to improve voltage in order to maintain its stability. The research method involved experimental voltage measurements. The results of this study provide an understanding of the voltage characteristics of a synchronous generator when subjected to load variations, as well as voltage improvement achieved by increasing the rotational speed of the motor.

Keywords: Synchronous generator, Voltage variation, Load variation

ABSTRAK

Generator sinkron adalah mesin sinkron pengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang memiliki frekuensi putar rotor sama dengan frekuensi tegangan yang dibangkitkan dengan menggunakan generator sinkron, sehingga keberadaannya sangat berpengaruh terhadap kontinuitas pelayanan. Studi ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Manado dengan menggunakan generator sinkron sebagai objek utama. Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristiknya adalah perubahan beban generator. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap perubahan tegangan pada generator sinkron pada pembebanan yang bervariasi serta melakukan perbaikan tegangan untuk menjaga stabilitas tegangan tersebut dengan menggunakan metode penelitian meliputi pengukuran tegangan secara eksperimental, hasil penelitian ini adalah pemahaman tentang karakteristik tegangan generator sinkron ketika diberikan beban dan perbaikan tegangan dengan cara penambahan kecepatan putar motor.

Kata Kunci: Generator sinkron, Perubahan tegangan, Perubahan beban

A. Pendahuluan

Generator sinkron merupakan salah satu jenis mesin listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan kecepatan putar rotor yang sinkron terhadap frekuensi sistem sebagaimana dijelaskan oleh Chapman. Mesin ini banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik, baik pada pembangkit maupun aplikasi industri skala besar, karena kemampuannya dalam menghasilkan tegangan yang stabil dan kontinu (Sen). Stabilitas tegangan yang dihasilkan menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas dan kontinuitas penyaluran energi listrik sebagaimana dikemukakan oleh Nagrath dan Kothari. Dalam konteks pendidikan, khususnya pada bidang teknik elektro, pemahaman mengenai prinsip kerja dan karakteristik generator sinkron merupakan kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh mahasiswa (Fitzgerald et al.). Namun, pada kenyataannya fasilitas laboratorium yang tersedia masih memiliki keterbatasan, baik dari segi peralatan praktikum maupun modul pembelajaran yang secara khusus membahas pengujian generator sinkron (Felder dan Brent [5]).

Keterbatasan ini menyebabkan proses pembelajaran praktikum belum berjalan secara optimal, sehingga mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami keterkaitan antara teori dan praktik sebagaimana dijelaskan oleh Creswell. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu media pembelajaran berupa *trainer kit* yang sederhana, mudah digunakan, namun tetap mampu merepresentasikan prinsip kerja serta pengujian dasar generator sinkron. Penggunaan metode pembelajaran berbasis praktik terbukti dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam bidang teknik (Prince dan Felder). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tegangan pada generator sinkron akibat variasi pembebanan, serta mengembangkan media praktikum berupa *trainer kit* yang dilengkapi dengan modul pembelajaran. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung proses pembelajaran yang lebih efektif serta meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap karakteristik generator sinkron.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental, yaitu melakukan pengujian langsung terhadap generator sinkron di laboratorium untuk menganalisis perubahan dan perbaikan tegangan akibat variasi pembebanan. Metode eksperimental dipilih karena mampu memberikan data aktual berdasarkan kondisi nyata pengujian di lapangan [N. H. Baya, T. Andriani, dan I. Darmawan].

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Manado dengan menggunakan generator sinkron sebagai objek utama penelitian. Prosedur penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, dilanjutkan dengan pengujian motor sinkron tanpa beban (*no-load test*) untuk mengetahui kondisi awal tegangan keluaran. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan variasi pembebanan secara bertahap, baik beban resistif, guna mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap tegangan motor sinkron [A. Wibisono, G. T. Aaron, dan S. Riyadi].

Pada setiap variasi beban, dilakukan pengukuran parameter listrik meliputi tegangan keluaran,

arus, frekuensi, serta kecepatan putar generator. Data hasil pengukuran dicatat dan dianalisis untuk mengetahui hubungan antara perubahan beban dengan perubahan tegangan yang terjadi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, perubahan beban sangat berpengaruh terhadap karakteristik generator sinkron, terutama terhadap tegangan dan efisiensi sistem [A. Annisa, W. Winarso, dan W. Dwiono].

Selain itu, dilakukan proses perbaikan tegangan dengan cara mengatur kecepatan putar penggerak (*prime mover*) atau sistem eksitasi untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran generator. Pengaturan ini penting karena tegangan generator sangat dipengaruhi oleh arus eksitasi dan kondisi beban yang berubah-ubah [J. Hardiansyah, Salahuddin, dan Taufiq].

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif kuantitatif, yaitu dengan membandingkan data hasil pengukuran pada setiap variasi beban, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi hasil. Pendekatan ini umum digunakan dalam penelitian sistem tenaga listrik

untuk mengevaluasi kinerja generator berdasarkan data eksperimen [F. Putra et al].

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berdasarkan metodologi penelitian, dilakukan uji laboratorium. Dalam uji laboratorium ini dilakukan beberapa pengujian generator sinkron dengan beban 6 buah lampu 50 watt serta dilakukan secara bervariasi dan akan mengalami perubahan tegangan, kecepatan motor sinkron.

- Spek

1. Percobaan tanpa beban

No	V _{eks} DC (V)	V _{motor} (V)	n (rpm)	f (Hz)	V _{generator} (V)
1	40	220	1496	49.9	79
2	60	220	1497	49.9	118
3	80	220	1498	50.0	158
4	100	220	1499	50.0	198
5	120	220	1500	50.0	220
6	140	220	1500	50.0	238
7	160	220	1500	50.1	252
8	180	220	1501	50.0	263
9	200	220	1500	50.0	270

Pada percobaan tanpa beban, variabel yang diubah adalah tegangan eksitasi DC mulai dari 40 V hingga 200 V, kemudian diamati pengaruhnya terhadap tegangan output generator. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tegangan generator berbanding lurus dengan tegangan eksitasi. Hal ini sesuai dengan teori bahwa EMF yang dibangkitkan generator sinkron dipengaruhi oleh kuat fluks magnetik, di mana fluks tersebut ditentukan oleh besarnya arus eksitasi yang mengalir pada kumparan rotor. Pada eksitasi 120

Vdc dengan putaran 1500 rpm, tegangan generator mencapai 220 V sesuai tegangan nominal yang tertera pada nameplate mesin. Titik ini menjadi referensi karakteristik tanpa beban mesin. Selain itu, kecepatan putar dan frekuensi output relatif konstan sepanjang percobaan karena tidak adanya beban yang memberikan torsi perlawanan pada poros motor.

2. Percobaan beban 3 lampu

No	V _{eks} DC (V)	V _{motor} (V)	n (rpm)	f (Hz)	V _{generator} (V)
1	40	220	1493	49.8	72
2	60	220	1494	49.8	108
3	80	220	1496	49.9	145
4	100	220	1497	49.9	183
5	120	220	1498	50.0	208
6	140	220	1499	50.0	226
7	160	220	1499	50.0	240
8	180	220	1500	50.0	251
9	200	220	1499	50.0	259

Pada percobaan dengan beban 3 lampu (150 W), tegangan eksitasi dinaikkan secara bertahap dari 40 V hingga 200 V dengan kondisi generator sudah terhubung ke beban resistif. Dibandingkan percobaan tanpa beban, tegangan generator pada setiap titik eksitasi yang sama mengalami penurunan sekitar 10–12 V. Penurunan ini terjadi akibat adanya drop tegangan pada impedansi sinkron mesin ketika arus beban mulai mengalir, sesuai persamaan $V_{terminal} = EMF - (I \times Z_s)$. Untuk mengembalikan tegangan ke nilai nominal 220 V, diperlukan eksitasi yang lebih besar dibandingkan percobaan tanpa beban, yaitu sekitar 140 Vdc. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan beban menuntut kompensasi eksitasi yang lebih tinggi agar tegangan terminal tetap stabil.

3. Percobaan beban 6 lampu

No	V _{eks} DC (V)	V _{motor} (V)	n (rpm)	f (Hz)	V _{generator} (V)
1	40	220	1489	49.6	62
2	60	220	1491	49.7	95
3	80	220	1493	49.8	130
4	100	220	1495	49.8	165
5	120	220	1496	49.9	193
6	140	220	1497	49.9	213
7	160	220	1498	49.9	228
8	180	220	1499	50.0	239
9	200	220	1500	50.0	248

Pada percobaan dengan beban 6 lampu (300 W), pembebanan generator ditingkatkan dua kali lipat dibandingkan percobaan sebelumnya. Akibatnya, arus yang mengalir ke beban semakin besar sehingga drop tegangan pada impedansi sinkron mesin juga semakin signifikan. Hal ini terlihat jelas pada data, di mana tegangan generator pada setiap titik eksitasi yang sama mengalami penurunan sekitar 20–25 V dibandingkan kondisi tanpa beban. Sebagai contoh, pada eksitasi 120 Vdc yang sebelumnya menghasilkan 220 V, kini tegangan terminal hanya mencapai 193 V. Fenomena ini dikenal sebagai regulasi tegangan yang buruk akibat pembebanan berlebih. Selain itu, efek pembebanan juga terlihat pada kecepatan putar motor yang sedikit turun di titik eksitasi rendah. Ini terjadi karena beban yang lebih besar memberikan torsi perlawanan yang lebih besar pada poros, sehingga motor membutuhkan sedikit lebih banyak energi untuk mempertahankan putarannya. Untuk mengembalikan tegangan ke 220 V pada kondisi beban penuh ini, diperlukan eksitasi minimal 160 Vdc. Hasil ini menegaskan bahwa semakin besar daya beban yang terhubung, semakin besar pula eksitasi yang

dibutuhkan untuk mempertahankan tegangan terminal pada nilai nominalnya.

4. Percobaan pada saat perbaikan tegangan

No	V _{eks} DC (V)	V _{motor} (V)	n (rpm)	f (Hz)	V _{generator} (V)
1	120	220	1400	46.7	170
2	120	220	1430	47.7	178
3	120	220	1450	48.3	183
4	120	220	1470	49.0	188
5	120	220	1490	49.7	191
6	120	220	1500	50.0	193
7	120	220	1530	51.0	200
8	120	220	1560	52.0	208
9	120	220	1590	53.0	215

Percobaan perbaikan tegangan dilakukan pada kondisi beban 6 lampu (300 W) dengan eksitasi DC tetap di 120 Vdc, kemudian kecepatan putar motor dinaikkan secara bertahap dari 1400 rpm hingga 1590 rpm untuk mengamati pengaruhnya terhadap tegangan generator. Hasil menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan putar memang berhasil meningkatkan tegangan generator. Hal ini sesuai teori bahwa EMF berbanding lurus dengan kecepatan putar, karena semakin cepat rotor berputar semakin banyak garis fluks yang terpotong per satuan waktu sehingga tegangan yang dibangkitkan ikut naik. Namun terdapat konsekuensi yang tidak dapat dihindari, yaitu frekuensi output ikut meningkat mengikuti persamaan $f = n \times P / 120$. Kenaikan kecepatan dari 1500 rpm ke 1590 rpm menyebabkan frekuensi bergeser dari 50 Hz menjadi 53 Hz, yang berpotensi mengganggu kestabilan peralatan listrik yang terhubung. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa perbaikan tegangan melalui kenaikan kecepatan

putar kurang ideal dibandingkan perbaikan melalui eksitasi, karena metode eksitasi mampu mengembalikan tegangan ke nilai nominal tanpa mempengaruhi frekuensi output.

D. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh percobaan yang telah dilakukan, diperoleh bahwa tegangan output generator sinkron Leybold-Didactic tipe 733 06 dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu besarnya tegangan eksitasi DC dan kondisi pembebanan. Pada percobaan tanpa beban, tegangan nominal 220 V tercapai pada eksitasi 120 Vdc dengan putaran 1500 rpm. Seiring penambahan beban dari 3 lampu hingga 6 lampu, tegangan terminal mengalami penurunan progresif akibat meningkatnya drop tegangan pada impedansi sinkron mesin. Perbaikan tegangan melalui kenaikan eksitasi terbukti lebih efektif dibandingkan kenaikan kecepatan putar, karena metode eksitasi tidak menimbulkan perubahan frekuensi output yang dapat mengganggu kestabilan sistem.

Saran

Untuk kesempurnaan hasil, disarankan pengukuran arus eksitasi dan arus beban secara bersamaan

agar karakteristik regulasi tegangan dapat dianalisis lebih mendalam. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengujian dengan variasi jenis beban, seperti beban induktif dan kapasitif, mengingat motor sinkron sangat sensitif terhadap faktor daya beban. Selain itu, implementasi sistem regulasi tegangan otomatis berbasis kontrol elektronik dapat menjadi topik yang relevan untuk dikembangkan sebagai pengembangan dari trainer kit ini.

DAFTAR PUSTAKA

Buku :

- Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals* (5th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric machinery* (6th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Nagrath, I. J., & Kothari, D. P. (2010). *Electric machines* (4th ed.). New Delhi, India: Tata McGraw-Hill.

Artikel in Press :

- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Felder, R. M., & Brent, R. (2016). *Teaching and learning STEM: A practical guide*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Prince, M. J. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>

Jurnal :

Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>

Sen, P. C. (1989). Principles of electric machines and power electronics. *IEEE Transactions on Education*, 32(4), 211–215.
<https://doi.org/10.1109/13.34158>

Felder, R. M., & Brent, R. (2003). Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. *Journal of Engineering Education*, 92(1), 7–25.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2003.tb00734.x>