



Sistem Kontrol Fuzzy Logic Pada Automatic Voltage Regulator (AVR) Untuk Analisa Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Riswan Wahyudi^{1*}

¹Universitas Teknologi Surabaya, Indonesia
*fst@utssurabaya.ac.id

Jl. Balongsari Praja V No 1 Tandes Surabaya

Abstrak. Paper ini mempresentasikan pengembangan sebuah *fuzzy logic controller* (FLC) untuk menggantikan *automatic voltage regulator* (AVR) sebagai fungsi eksitasi. Metode yang digunakan pada paper ini merupakan teknik analisa *root locus* sistem linier untuk respon regulasi dinamis mesin sinkron yang berhubungan ke *infinite bus*. Simulasi dilakukan untuk membandingkan respon stabilitas transien tegangan terminal (*terminal voltage*), sudut beban (*load angle*) serta torsi kelistrikan (*electrical torque*). Karakteristik kurva yang dihasilkan akan menunjukkan perbaikan yang signifikan dengan menggunakan FLC.

Kata kunci: AVR, FLC, mesin sinkron.

1. PENDAHULUAN

Sistem eksitasi dari sistem tenaga listrik harus mendukung kontrol tegangan efektif dan mempertinggi stabilitas. Hal ini harus mampu merespon secara cepat perubahan stabilitas gangguan transien dan stabilitas sinyal kecil (Anderson et al., 1977; Farhan, 2021; Liliana, 2021; Pangkung et al., 2018).

Tiga prinsip stabilitas yang mempengaruhi generator sinkron antara lain boiler, governor dan pengaturan eksiter. Dengan mengasumsikan unit pembangkit tanpa rugi-rugi (losses) maka rugi-rugi total dari turbin terhadap output total pembangkitan semua daya yang diterima dari steam boiler dalam bentuk daya listrik. Pengaturan governor yang dihasilkan sesuai daya yang dihasilkan pembangkit. Pengaturan sistem eksitasi yang menghasilkan EMF dari generator tidak hanya mengatur tegangan output akan tetapi juga mengatur faktor daya dan besaran arus yang sesuai (Anderson et al., 1977; Rais et al, 2024; Nurdin et al., 2018).

Banyak sistem yang menggunakan eksiter merupakan sebuah generator dc begitu juga pada turbin uap (seporos dengan generator) atau sebuah motor induksi. Begitu juga dengan adanya penambahan sejumlah sistem solid-state seperti rectifier.

Regulator tegangan merupakan kecerdasan dari sistem dan pengaturan output eksiter yang menghasilkan tegangan dan perubahan daya reaktif yang diinginkan.

Banyak sistem modern *automatic voltage regulator* (AVR) sebagai kontrol tegangan output generator (terkadang arus) kemudian aksi koreksi awal dengan perubahan pengaturan eksiter yang dikehendaki.

Kecepatan dari AVR sangat diminati untuk dipelajari pada sistem kestabilan. Sebab induksi yang tinggi kumparan medan generator yang membuat kesulitan untuk membuat perubahan yang cepat pada arus medan.

Pada pendahuluan ini meliputi sebuah pertimbangan fungsi pengaturan untuk mengatasi desain sebuah sistem regulasi. Maksud dari pengerjaan ini adalah bagian pengembangan kontrol fuzzy (software) untuk simulasi *automatic voltage regulator* (Wahyudi, 2021)..

2. ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN

Permintaan pertama dari sistem kelistrikan yang dipercaya adalah untuk menjaga bekerjanya generator sinkron keadaan paralel dengan kapasitas yang memadai untuk permintaan beban yang memuaskan. Kapanpun apabila sebuah generator tidak sinkron terhadap sistem maka dapat terjadi fluktuasi tegangan dan arus yang berarti sehingga saluran transmisi akan dapat secara otomatis terputus dari sistem akibat pengaruh konfigurasi relay pada sistem.

Permintaan kedua adalah mempertahankan integritas sistem tenaga listrik terutama pada transmisi tegangan tinggi yang terhubung dengan sumber pembangkitan ke pusat-pusat beban. Biasanya sistem tenaga menghendaki study topology yang hampir semua sistem kelistrikan terhubung satu dengan yang lainnya.

Sistem tenaga dengan kondisi beban dibawah normal merupakan gangguan yang perlu dilakukan peninjauan kembali terutama pada sudut tegangan mesin sinkron.

Sistem pengaturan untuk kondisi yang baru tersebut disebut dengan ‘periode transient’ dan sistem yang ditunjukkan selama periode tersebut disebut “performa dinamis”.

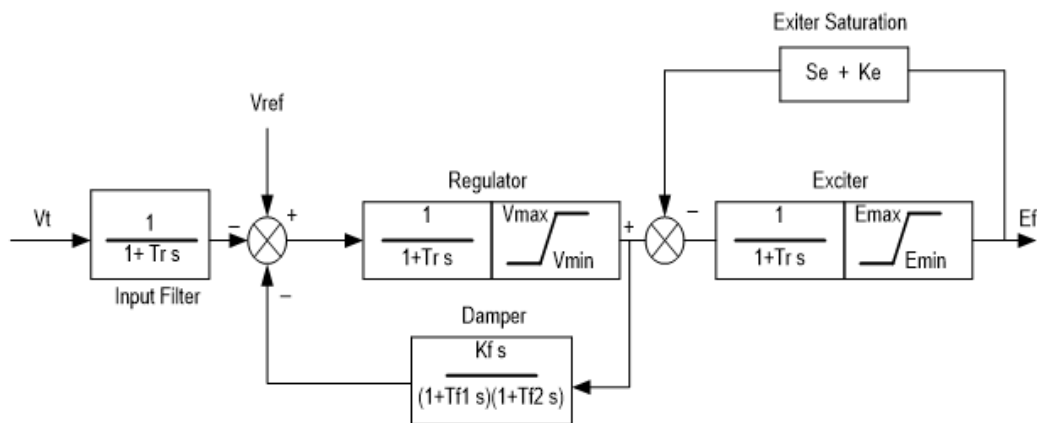
Respon osilasi selama periode transien harus dikurangi untuk mendapatkan kestabilan. Ketidakstabilan sistem tenaga listrik dapat ditunjukkan dengan beberapa arah yang berbeda antara lain konfigurasi dan model operasi.

3. AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

Peralatan otomatis untuk kontrol tegangan output generator dan frekuensi harus mempunyai kriteria dapat menjaga konstan harga parameter sebelum gangguan pada generator. Peralatan otomatis meliputi :

1. Automatic Voltage Regulator
2. Governor

Governor digunakan untuk aksi loop dengan kecepatan agak lambat dibandingkan AVR.



Gambar 1. Model AVR

AVR digunakan untuk tegangan terminal dengan mengatur tegangan eksiter generator pada kondisi berbeban, mengatur daya reaktif yang dihasilkan dengan menjaga faktor daya mesin.

Untuk kualitas AVR dapat diperlihatkan dengan pengaruh level tegangan selama operasi steady state dan juga mengurangi osilasi selama periode transien dan terpenting berpengaruh terhadap semua kestabilan sistem.

4. ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN FLC

Pengontrolan sistem non-linier yang sangat kompleks sangat sulit menggunakan teori konvensional. *Artificial intelligence* dengan bahasa alami membuktikan bermanfaat pada kejadian ini sebagaimana dengan banyaknya ketidakpastian apa yang dibawa mendekati pada pemikiran logika pada manusia. Pada *artificial intelligence* fuzzy logic merupakan salah satu pilihan tersebut.

Data Fuzzy Logic Controller

Fuzzy logic telah banyak digunakan beberapa tahun belakangan ini, hal ini disebabkan bermanfaat untuk mengurangi model yang kompleks dalam penyelesaian permasalahan, dengan memanfaatkan bahasa manusia yang berhubungan antara konstrain elemen input dan elemen output.

Logika (logic) ini memiliki motivasi utama metode analisa tradisional untuk menggambarkan kejadian dengan tidak berhubungan dengan persamaan diferensial. Teori ini membuktikan arah pemahaman yang kabur pada elemen dan keanggotaan pada himpunan (Zadeh et al, 1965).

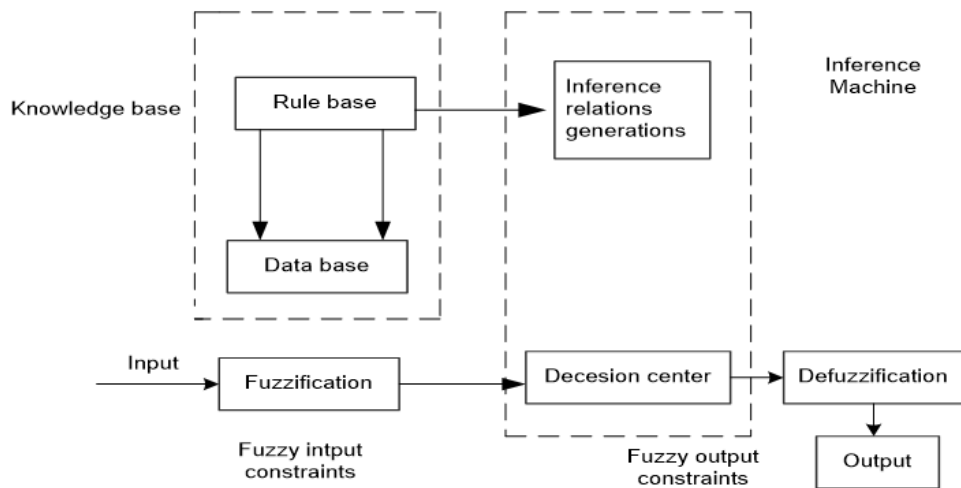
Fuzzy Set

Fuzzy set adalah sebuah koleksi elemen tersendiri yang berhubungan dengan derajat keanggotaannya yang disebut dengan fungsi keanggotaan (membership function) (Koskos, 1992).

Suatu himpunan fuzzy (fuzzy set) F dalam semesta pembicaraan (universe of course) U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan μ_F yang berharga pada interval $[0,1]$. Secara matematika dapat ditulis sebagai $\mu_F: U \rightarrow [0,1]$. Himpunan fuzzy F dalam semesta pembicaraan U biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen u (u anggota U) dan besarnya derajat keanggotaan (grade of membership) $u: U \rightarrow [0,1]$.

Fuzzy Controller

Dasar kontrol untuk fuzzy logic diberikan dalam bentuk konversi kontrol linguistic strategi dari pengetahuan ahli yang pertama mengaplikasikan dasar kontrol fuzzy logic (Mamdani et al, 1975; Wahyudi, 2021; Lee, 1990).



Gambar 2. Dasar konfigurasi FLC

Fuzzy Controller Project

Pengembangan dari dasar sistem kontrol pada logika fuzzy (IEEE Comitte Report, 1968; Mamdani, 1975; Pamungkas, 2018) dan terlihat pada **Gambar 2.** menunjukkan sebuah konfigurasi FLC dengan aturan sebagai berikut :

1. Fuzzification Strategy
2. Data Base Building
3. Rule Base Elaboration
4. Inference Machine Elaboration
5. Defuzzification Strategy

Input terhubung ke error tegangan terminal dan bervariasi sedangkan output untuk penambahan tegangan eksiter. Sebuah fungsi keanggotaan bersegi-tiga (triangular) digunakan untuk kompensasi atau pengembangan tetapi tidak apabila aturan (rule) dimasukkan kembali pada saat digunakan.

5. HASIL

Kurva yang ditunjukkan pada subseksi dibawah akan membuktikan hasil performa perbandingan antara kontrol konvensional dan kontrol menggunakan fuzzy.

Diagram Blok ditunjukkan **Gambar 3.** merupakan sebuah mesin sinkron dengan kontrol output tegangan menggunakan sebuah AVR sebagai sistem eksitasi (simulasi dengan menggunakan MATLAB).

Langkah selanjutnya mengganti peralatan AVR dengan sebuah fuzzy logic controller sesuai **Gambar 3**. Aturan dasar (rule-base) yang digunakan oleh fuzzy logic controller untuk simulasi sebuah AVR pada program MATLAB terlihat pada Tabel.

Fuzzy controller bekerja dengan input dan output pada interval [-1,1] (Koskos, 1992). Lima variabel linguistik (linguistic variabel) yang digunakan

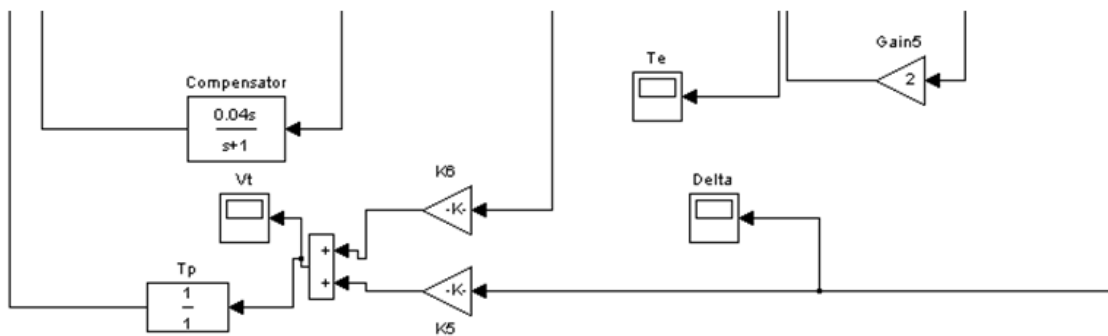
MN : Medum Negative

SN : Small Negative

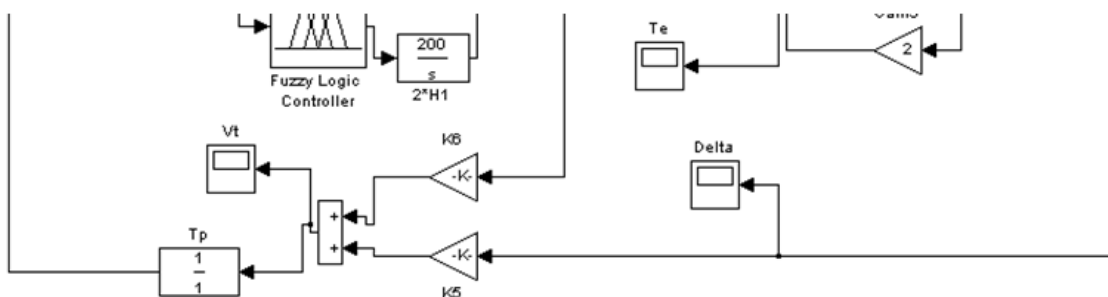
Z : zero

SP : Small Positive

MP : Medium Positive



Gambar 3. Blok diagram dari mesin sinkron dengan AVR

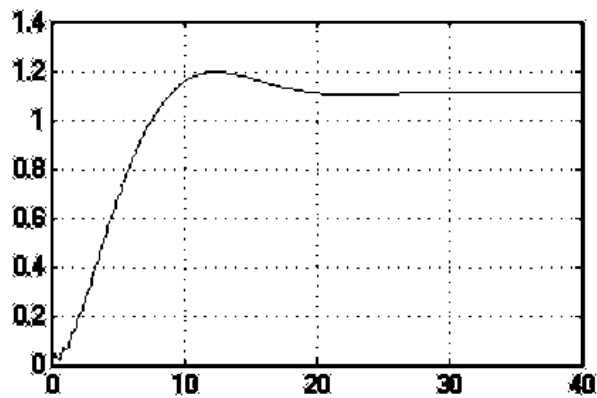


Gambar 4. Blok diagram dari mesin sinkron dengan FLC

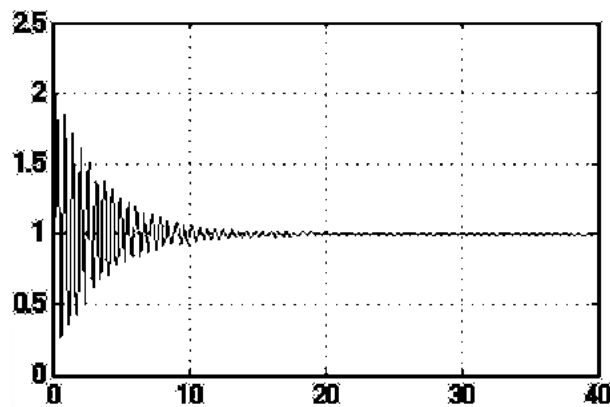
Tabel 1. Aturan dasar FLC

E/DE	NM	NS	ZE	PS	PS
NM	NM	NM	NM	NS	SP
NS	NM	NM	NS	ZE	SP
ZE	NM	NS	ZE	PS	MP
PS	NS	ZE	PS	PS	MP
PM	ZE	PS	PM	PM	LP

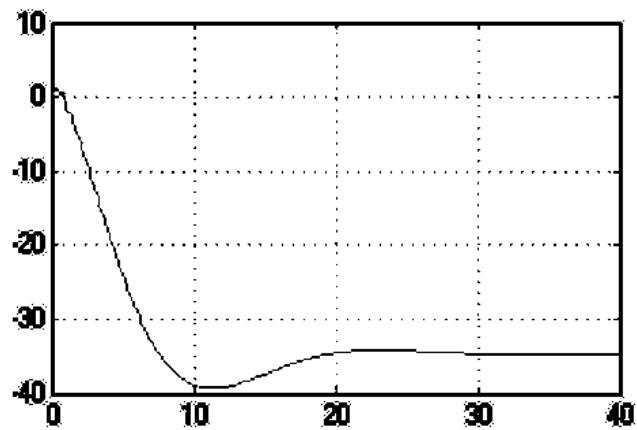
Simulasi dengan menggunakan matlab untuk memperlihatkan karakteristik kurva tegangan terminal, sudut beban dan torsi listrik dengan menggunakan AVR dan FLC dengan hasil pada **Gambar 5-10**.



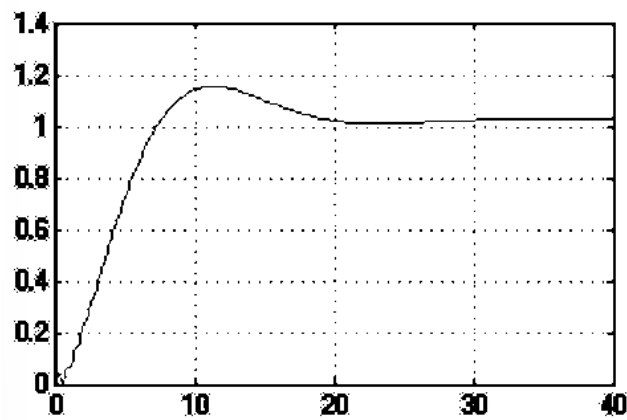
Gambar 5. Tegangan terminal (*terminal voltage*) dengan AVR tanpa FLC



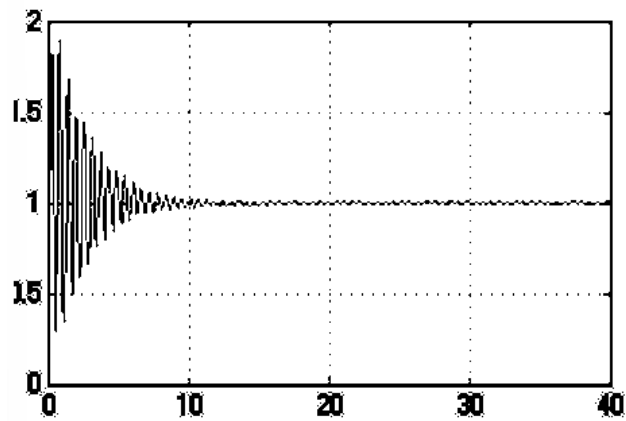
Gambar 6. Torsi listrik (*electric torque*) dengan AVR tanpa FLC



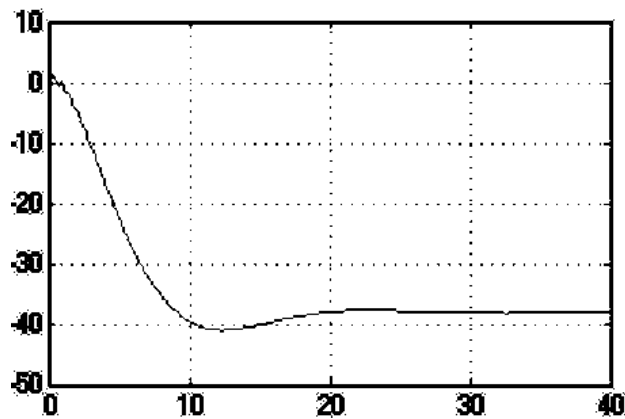
Gambar 7. Sudut beban (*load angle*) dengan AVR tanpa FLC



Gambar 8. Tegangan terminal dengan FLC



Gambar 9. Torsi listrik dengan FLC



Gambar 10. Sudut beban dengan FLC

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan menganalisa hasil simulasi MATLAB dapat disimpulkan hasil FLC untuk kontrol eksitasi mesin sinkron akan lebih baik dari AVR untuk mencapai keadaan steady state hal ini terlihat dari karakteristik kurva yang ditampilkan . Pengembangan selanjutnya diharapkan dapat dilakukan dengan menggunakan pada sejumlah bus yang lebih besar dan komplit.

DAFTAR REFERENSI

- Wahyudi, R. (2021). Fuzzy Logic Application to Reduce Reactive Power on The 20 Kv Distribution Network of East Java APJ South Surabaya. *Jurnal Mantik*, 4(4).
- Anderson, P.M., & Fouad, A.A. (1977). *Power System Control and Stability*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA.
- Mamdani, E.H., & Assilian S.S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).
- Lee, C.C. (1990). Fuzzy logic in Control Systems. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, 20(2).
- IEEE Committee Report. (1968). Computer Representation of Excitation Systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, 87, 1460-1464.
- Zadeh ,L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Koskos, B. (1992). *Neural Networks and Fuzzy Systems*. Prentice Hall. New Jersey.
- Pamungkas, T.D., Sutisna, U., & Fauzan, Y.R. (2018). Penerapan Algoritma Fuzzy Untuk Optimasi Kontroler PID Pada Sistem Kontrol AVR Generator 3 Fasa 480 VA Berbasis Mikrokontroler ATMega16. *Jurnal Ilmiah STT Wiworotomo Purwokerto*, 10(2).

Ali, A., Biru, G., & Banteyirga, B. (2023). Fuzzy Logic-Based AGC and AVR for Four-Area Interconnected Hydro Power System. *Electric Power Systems Research*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109494>.

Wahyudi, W. (2012). Implementasi Fuzzy Logic Controller pada Sistem Pengereman Kereta Api. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(2), 9-13.

Romadhan, S., Setiyono, B., & Sumadi. (2014). Menggunakan Kontrol Fuzzy untuk Pengaturan Suhu Cairan Berbasis ATmega16. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(4).

Jati, P., Sunarno, & Sujarwata. (2017). Simulasi Kendali Proportional Integral Derivative dan Logika Fuzzy pada Sistem Eksitasi Automatic Voltage Regulator dengan Simulink MATLAB. *Physics Communication*, 1(1).

Farhan, M., (2021). Pengaruh Pembebanan terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug. *Jurnal Simetrik: Sipil, Mesin, Listrik*, 11(1). <https://doi.org/10.31959/js.v11i1.653>.

Liliana. (2021). Analisis Kinerja Automatic Voltage Regulator (AVR) Sebagai Pengontrol Suplai Tegangan Eksitasi Generator Ac 3 Fasa. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy*, 1(1). <https://doi.org/10.57152/ijeere.v1i1.88>

Pangkung, A., Marhatang, & Irlan, N.C. (2018). Analisis Pengaruh Penggunaan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) terhadap Sistem Eksitasi Generator Pada BTG 1 (*Boiler Turbin Generator*) PT. Semen Tonasa. *Jurnal Sinergi*, 16(1). <http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v16i1.1201>.

Rais, A., Santoso, D.B., & Lambada, I. (2024). Penstabil Pelaksanaan Tegangan Kinerja Berbasis AVR (*Automatic Voltage Regulator*) Pada Sistem Eksitasi di PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(2), 191-201. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10476852>.

Nurdin, A., Azis, A., & Rozal, R.A. (2018). Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron. *Jurnal Ampere*, 3(1).