

PENGGUNAAN PID PADA AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR (AVR) UNTUK KESTABILAN TEGANGAN TERMINAL GENERATOR SINKRON 3 FASA

Abdul Muis Prasetya¹, Linda Sartika², Al Ma'ruf³

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

³PT Perusahaan Listrik Negara, Tarakan, Indonesia

¹prasetia.electric@gmail.com

²linda_krs@yahoo.com

³aalmaruf123@gmail.com

Abstract— Nowadays, electricity has become a major need for us, and to meet this need, an electricity generator system is needed, one of which can use a 3-phase synchronous generator which have functions to convert motion energy into an electrical energy. The large demand for electrical energy with varying needs means that the electricity produced by generators is often unstable, therefore an Automatic Voltage Regulator (AVR) is needed which works continuously to read voltage errors at the generator terminals and then correct them. In this research, the AVR excitation system has been designed using Proportional Integral Derivative (PID) controller with gain value of $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; and $K_d = 0$. PID parameters are embedded in the microcontroller with a programming language, with the AVR in the 3-phase synchronous generator the power generation system is able to produce a stable voltage and in accordance with the PLN standard, by value of 220V both when loaded and unloaded.

Keywords— Three Phase Synchronous Generator, Excitatioon system, PID Controllers, Steady State.

Intisari— Pada masa sekarang ini listrik sudah menjadi kebutuhan utama bagi kita, dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan sistem pembangkit listrik, salah satunya dapat menggunakan generator sinkron 3 fasa yang berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Besarnya permintaan energi listrik dengan kebutuhan yang beragam menyebabkan listrik yang dihasilkan generator sering kali tidak stabil, maka dari itu diperlukan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang berkerja secara kontinyu untuk membaca error tegangan pada terminal generator lalu memperbaikinya. Pada penelitian ini sistem eksitasi AVR telah dirancang menggunakan kendali Proportional Integral Derivative (PID) dengan gain yang digunakan yaitu $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; dan $K_d = 0$. Parameter PID ditanamkan pada mikrokontroler dengan bahasa pemrograman, dengan adanya AVR pada generator sinkron 3 fasa sistem pembangkit listrik mampu menghasilkan tegangan yang stabil dan sesuai dengan setandar PLN yaitu 220V baik ketika diberi beban ataupun tidak diberi beban.

Kata Kunci— Generator sinkron 3 fasa, sistem eksitasi, kendali PID, kestaabilan.

I. PENDAHULUAN

Pada sistem tenaga listrik generator memiliki peranan penting dimana sebagian besar energi listrik yang digunakan masyarakat sebagai kebutuhan setiap hari

berasal dari generator yang berada pada pembangkit listrik, cara kerja generator yaitu mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik, generator yang sering digunakan di sistem pembangkit yaitu generator sinkron, kecepatan putaran rotor sama dengan kecepatan putar medan.

Salah satu yang menyebabkan generator tidak aman adalah beban yang berubah-ubah dari konsumen listrik yang mengakibatkan tegangan pada terminal generator tidak setabil, sehingga dibutuhkan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang mampu untuk menstabilkan tegangan keluaran generator sinkron, di mana AVR akan mengatur tingkat arus eksitasi sebagai penguatan medan magnet [1].

Perbedaan potensial mengakibatkan arus mengalir dan ggl mempertahankan perbedaan potensial. Karena keduanya diukur dalam volt, istilah umum yang digunakan yakni tegangan (voltage), dengan untuk menunjukkan ukuran masing-masing. Walaupun istilah beda potensial, yakni ggl dan tegangan tidak mempunyai arti yang tepat sama, mereka sering digunakan secara digunakan bergantian [2].

Berdasarkan Standar PLN (SPLN) No.1:1978 tegangan yang diperbolehkan adalah tegangan maksimum +5% dan tegangan minimum -10% terhadap tegangan normalnya, tegangan yang telah ditentukan oleh PLN normalnya adalah 220V dan 380V. di mana ketika tegangan melebihi atau kurang dari batas yang ditetapkan tegangan akan dianggap tegangan lebih (overvoltage) ketika melewati batas maksimum dan dianggap tegangan kurang (undervoltage) apabila kurang daripada batas minimum, dan overvoltage dan undervoltage.

Stabilitas tegangan berdasarkan SPLN No.1:1978 merupakan kemampuan suatu sistem dalam menjaga tagangan agar berada pada nilai nominal ketika terjadi gangguan ataupun adanya perubahan beban. Umumnya kestabilan pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi tiga yaitu [3] kestabilan dinamik sistem tenaga listrik, kestabilan transien sistem tenaga listrik, dan kestabilan steady state sistem tenaga listrik. Kestabilan dapat dinilai dengan melakukan analisa terhadap respon sistem dengan melihat respon transien dimana respon transien dapat diukur mulai dari ayunan pertama hingga mulai dari 1 detik [4].

Generator sinkron Alternating Current (AC) yang disebut juga alternator merupakan mesin listrik dengan fungsi yaitu mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik) melalui induksi medan magnet. Energi bisa berubah karena adanya medan magnet yang berubah di kumparan stator (tempat munculnya energi listrik).

Disebut generator sinkron dikarenakan kecepatan putaran rotornya akan selalu sama dengan putaran medan magnet yang menginduksi kumparan stator. Kecepatan sinkron diperoleh dari kecepatan putaran rotor yang memiliki kutub magnet berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet yang berputar menginduksi kumparan jangkar stator. lilitan jangkar terletak pada stator sedangkan lilitan medan terletak pada rotor generator itu sendiri [1].

Sistem eksitasi merupakan sistem masuknya listrik arus searah untuk penguatan medan di generator, kemudian menciptakan tenaga listrik serta besaran tegangan yang keluar tergantung dari besarnya arus eksitasi. Kendali sistem eksitasi menghasilkan tegangan emf generator. Karena itu, kendalinya tidak hanya digunakan untuk mengendalikan power faktor, arus, serta perbaikan variabel lain. Sistem eksitasi pada generator terbagi menjadi 2 jenis, antara lain [3] sistem eksitasi memakai sikat dan sistem eksitasi tanpa memakai sikat.

AVR merupakan sistem umpan balik yang secara konstan memantau tingkat tegangan yang dihasilkan di terminal generator dan dengan pengontrol sistem AVR mampu mengatur tingkat eksitasi rotor [5]. Generator umumnya dilengkapi dengan kendali tegangan secara otomatis untuk mengendalikan tegangan agar besarnya tetap konstan walaupun dengan beban yang bervariasi. Karena itu kendali tegangan otomatis memperoleh input tegangan generator lalu outputnya yaitu pengendali rangkaian arus sebagai penguatan. metode yang sering digunakan dalam hal ini adalah dengan menggunakan alat bantu yang bisa dibilang dengan kendali tegangan AVR difungsikan mengatur besarnya eksitasi arus medan DC yang disuplai pada lilitan rotor generator. Ketika tegangan generator menurun akibat variasi beban, maka kendali tegangan secara otomatis menaikkan penguatan medan sehingga tegangan kembali stabil. Begitu pula sebaliknya jika tegangan generator naik oleh variasi beban, maka kendali akan memperbaiki tegangan sesuai dengan tegangan normalnya dengan mengurangi arus eksitasi pada medan [6].

PID merupakan gabungan dari pada 3 parameter kontrol yakni Proporsional (K_p), Integral (K_i) serta Derivatif (K_d). Dimana tiap-tiap kendali itu memiliki fungsi yang berbeda-beda terhadap pencapaian performansi sistem yang ditetapkan dimana sangat butuh dikombinasikan untuk memenuhi kelemahan tiap-tiap parameter kendali.

Proporsional merupakan kendali yang pada prinsipnya menggunakan umpan balik didalamnya. Kendali Proporsional elektronik adalah suatu penguat yang menerima sinyal tegangan kecil dan menghasilkan keluaran dengan tingkat tegangan yang lebih tinggi. Adapun wujud mekanisme yang sebetulnya dari apapun rupa daya penggerakannya, kendali proporsional pada konsep dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang bisa

dikendalikan. Pada respon sistem kendali proporsional suatu "plant" yang fungsi alihnya tidak menggunakan integrator, terdapat kesalahan pada sistem pada keadaan tunak atau ofset. Ofset semacam itu dapat dihilangkan dengan menambahkan integral pada kontroler.

Pada kendali integral suatu "plant", sinyal kontrol, yaitu sinyal keluaran kontroler, setiap saat adalah luas bidang kesalahannya yang dibentuk oleh kurva kesalahan pada sistem terhadap waktu. Sinyal kontrol $u(t)$ dapat memiliki nilai nol ketika sinyal error pada sistem $e(t)$ nol, dimana hal tersebut tidak bisa dimiliki kontroler proporsional karena proporsional harus memiliki kesalahan sistem tidak nol atau tidak bisa digunakan ketika kesalahan nol.

Jadi kendali integral pada sistem merupakan kendali yang berfungsi untuk menghilangkan error keadaan tunak pada respon, hal tersebut merupakan perbaikan yang penting pada kendali proporsional. Selagi sinyal error selalu ada, maka sinyal kontrol integral akan selalu bereaksi dan saat sinyal error nol, sehingga $u(t)$ akan tidak berubah. Dengan begitu, aksi kendali integral akan menghilangkan error steady state. Yang artinya, keluaran sistem akan terus menuju set point sedekat mungkin.

Kendali derivatif jika ditambahkan pada kendali proporsional akan melengkapi suatu cara untuk mendapatkan suatu sistem kontrol dengan kepekaan yang tinggi. Keunggulan menggunakan kendali derivatif adalah aksinya memberikan respon terhadap cepatnya perubahan pada error sistem dan dapat menghasilkan koreksi sebelum error sistem menjadi sangat besar. Maka dari itu kendali derivatif akan memprediksi kesalahan pada sistem, memulai aksi perbaikan dan cenderung memperbanyak kesetabilan pada sistem.

Walaupun kendali derivatif tidak berpengaruh pada kesalahan keadaan tidak berhenti dengan langsung, namun dapat menambahkan redaman sistem sehingga dengan penggunaan nilai penguatan K yang lebih besar dan akan memperbaiki kecermatan keadaan tidak berhenti. Diagram blok kendali integral dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut.

Karena kendali derivatif bekerja menurut cepatnya perubahan kesalahan respon sistem. Bukan berdasarkan pada kesalahan sistem itu sendiri, maka kendali derivatif tidak bisa digunakan sendirian. Kendali derivatif akan terus digunakan bersamaan dengan kendali proporsional atau proporsional plus integral.

Masing-masing kendali baik itu proporsional, integral, dan derivatif sudah dijabarkan seperti pada penjelasan diatas. Dengan demikian kendali PID yang merupakan penggabungan dari tiga parameter kendali proporsional, integral, dan derivatif. Kelebihan daripada tiap-tiap ketiga kendali tersebut, dan kendali PID pada sistem pengontrolan proses, sangat baik digunakan terhadap gangguan beban.

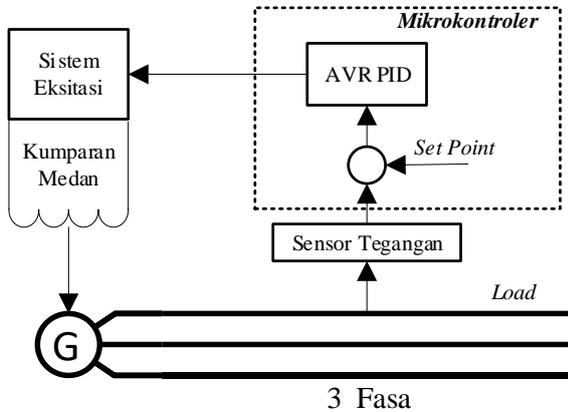
Perancangan dengan menentukan parameter tuning PID sering kali dilakukan dengan metode mencoba-coba (trial and error), hal itu dikarenakan masing-masing parameter K_p , K_i , dan K_d memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap respon transient sehingga kombinasi sangat penting untuk menutupi kekurangan tiap-tiap parameter [7]. Penentuan parameter tuning PID yang dilakukan dengan cara (trial and error) yang bertujuan untuk

menghasilkan respon sistem yang baik dalam memperbaiki error pada sistem seperti yang telah dilakukan oleh [8]

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Diagram Blok Sistem AVR PID

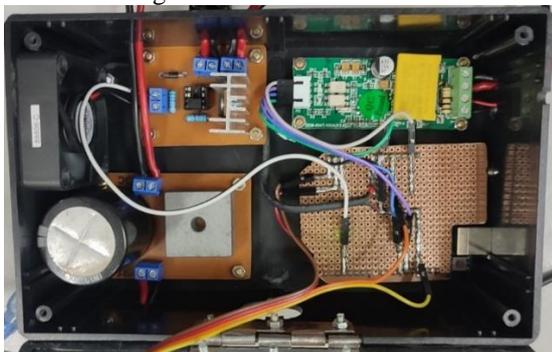
Perancangan suatu sistem dibuat untuk memudahkan dalam proses implementasi yang dilakukan, dan juga perancangan dilakukan agar bisa memperoleh data yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian. Berikut merupakan gambar diagram blok AVR PID.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem AVR PID.

B. Perancangan Alat AVR

AVR ini dibuat dengan penyatuan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti sensor, mikrokontroler, sistem eksitasi, dan penyearah tegangan yang disusun berdasarkan rangkaian yang telah di rancang. Di mana komponen-komponen tersebut disusun dalam box yang sudah disesuaikan dimana nantinya AVR ini akan berguna untuk memperbaiki tingkat kesalahan tegangan pada terminal generator. Ada pun gambar rangkaian keseluruhan dari AVR adalah sebagai berikut:

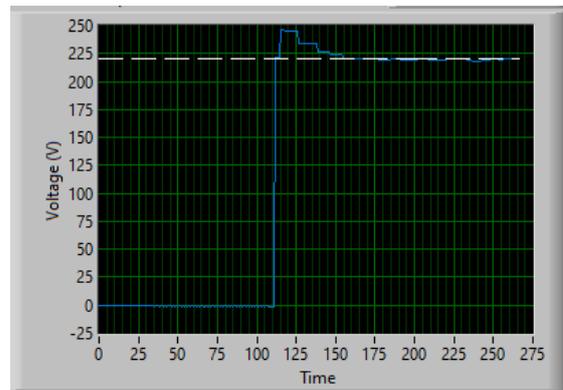


Gambar 2. Rangkaian AVR

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian AVR PID Metode Trial and Error

Pengujian dilakukan dengan memasukan nilai K_p , K_i , K_d dengan nilai acak hingga menemukan nilai yang paling tepat dan baik untuk memperbaiki error pada respon sistem dimana respon sistem dapat diukur dengan melihat respon transien pada respon sistem diantaranya yaitu: Delay time, Rise time, Peak time, Maximum overshoot, Settling time, Error steady state. Di mana data hasil percobaannya adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Respon Sistem dengan $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; $K_d = 0$

Tabel I
Data Respon Transien Penentuan Nilai Pid

Nilai K_p, K_i dan K_d	Delay Time (Second)	Rise Time (Second)	Peak Time (Second)	Max Overshoot	Settling Time (Second)	ESS (%)
$K_p=0.10$ $K_i=20$ $K_d=0$	0.2	0.32	1.5	9	4	3.4
$K_p=0.25$ $K_i=15$ $K_d=1$	0.2	0.32	0.5	9	error	9
$K_p=0.25$ $K_i=15$ $K_d=0$	0.05	0.08	1	9.5	4.5	0
$K_p=0.50$ $K_i=15$ $K_d=0$	0.3	0.48	1.3	9	6.8	0
$K_p=0.25$ $K_i=50$ $K_d=0$	0.125	0.2	1	6.8	3.2	4.5
$K_p=0.50$ $K_i=0.15$ $K_d=0.1$	0.05	0.08	0.4	6.8	error	8.6

Berdasarkan analisa enam kali percobaan dalam penentuan nilai PID yang tepat dalam memperbaiki error pada sistem yaitu dengan $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; $K_d = 0$, dimana respon sistem dengan nilai PID tersebut mampu memperbaiki error hingga stabil pada set point 220V dengan $K_p = 0.25$; $K_i = 0.15$; $K_d = 0$ didapatkan nilai delay time = 0.05 sekon, rise time = 0.08 sekon, peak time = 1 sekon, max overshoot = 9.5%, settling time = 4.5 sekon, error steady state = 0% dan dengan menggunakan nilai $K_p = 0.50$; $K_i = 15$; $K_d = 0$ didapatkan delay time = 0.3 sekon, rise time = 0.48 sekon, peak time = 1.3 sekon, max overshoot = 9%, settling time = 6.8 sekon, error steady state = 0% respon sistem dengan nilai PID tersebut juga mampu memperbaiki error hanya saja waktunya yang dibutuhkan lebih lama.

B. Pengujian AVR PID dengan Penambahan Beban

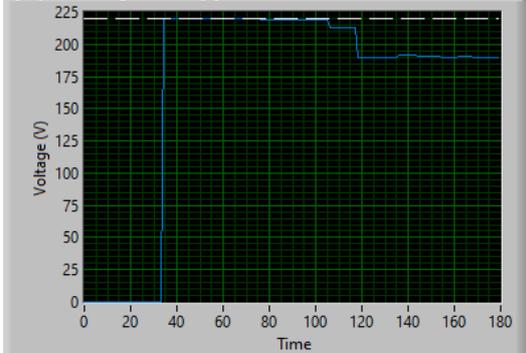
Pengujian dengan pembebanan dilakukan untuk mengetahui respon sistem ketika generator dibebri beban baik itu beban resistif, beban induktif ataupun beban kapasitif dimana dengan penambahan beban tersebut akan mempengaruhi tegangan sehingga bisa saja tegangan

terminal generator mengalami tegangan lebih (overvoltage) ataupun tegangan turun (undervoltage) lalu kita melihat bagaimana respon sistem setelah itu apakah AVR dengan PID mampu untuk melakukan perbaikan atau tidak dengan memberikan tegangan referensi dengan nilai 220V sesuai dengan tegangan yang ditetapkan oleh PLN. Di mana data hasil percobaannya adalah sebagai berikut:

1. Dengan Beban Resistif

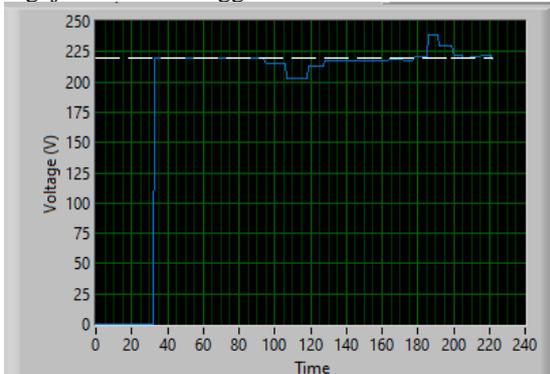
Berikut ini merupakan perbandingan antara menggunakan kontroler PID dengan tanpa kontroler menggunakan beban resistif.

a. Pengujian tanpa menggunakan PID



Gambar 4. Grafik Respon Sistem tanpa PID dengan Beban Resistif.

b. Pengujian ketika menggunakan PID

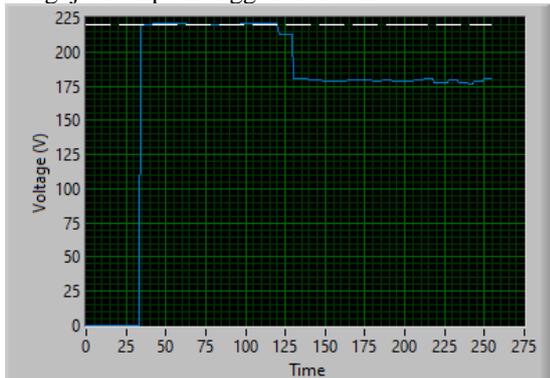


Gambar 5. Grafik Respon Sistem menggunakan PID dengan Beban Resistif.

2. Dengan Beban Induktif

Berikut ini merupakan perbandingan antara kontroler PID dengan tanpa kontroler menggunakan beban induktif.

a. Pengujian tanpa menggunakan PID



Gambar 6. Grafik Respon Sistem tanpa PID dengan Beban Induktif.

b. Pengujian ketika menggunakan PID

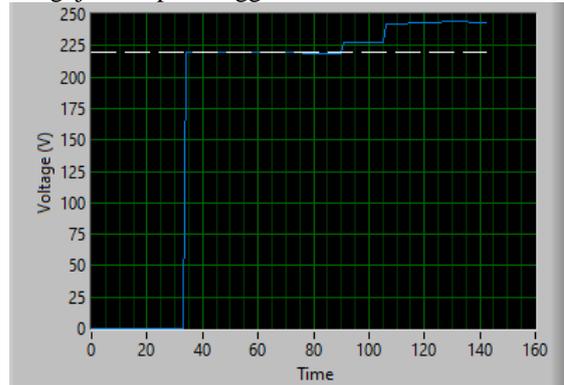


Gambar 7. Grafik Respon Sistem menggunakan PID dengan Beban Induktif.

3. Dengan Beban Kapasitif

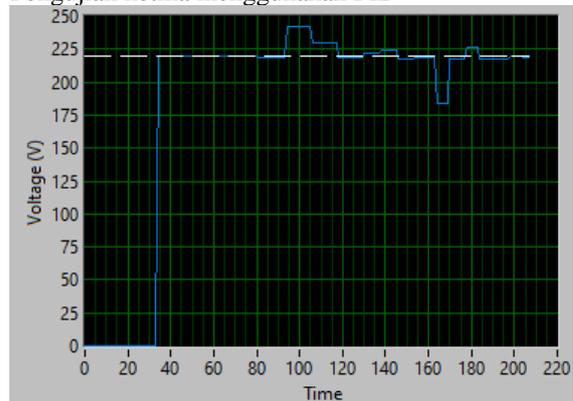
Berikut ini merupakan perbandingan antara kontroler PID dengan tanpa kontroler menggunakan beban Kapasitif.

a. Pengujian tanpa menggunakan PID



Gambar 8. Grafik Respon Sistem tanpa PID dengan Beban Kapasitif.

b. Pengujian ketika menggunakan PID



Gambar 9. Grafik Respon Sistem menggunakan PID dengan Beban Kapasitif.

Tabel II
Tabel Hasil Pengujian AVR PID dengan Beban Resisif

	Beban Resistif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Tegangan Generator (V)	190	202	235

	Beban Resistif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Time (s)	12	10.5-12	18.5-20

Tabel III
Tabel Hasil Pengujian AVR PID dengan Beban Induktif

	Beban Induktif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Tegangan Generator (V)	180	190	235
Time (s)	13	23.5-24.7	35-37

Tabel IV
Tabel Hasil Pengujian AVR PID dengan Beban Kapasitif

	Beban Kapasitif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Tegangan Generator (V)	245	245	190
Time (s)	9	9.3-11.8	16.3-17

Berdasarkan dari pengujian dengan penambahan beban yang telah dilakukan yang dapat kita lihat dari grafik dan tabel hasil pengujian dengan pembebanan di atas bahwa sistem AVR dengan PID sudah mampu menstabilkan tegangan terminal generator sinkron 3 fasa sesuai dengan tegangan normal yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu pada tegangan 220V baik ketika diberi beban Resistif, Induktif, dan Kapasitif.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dengan melakukan perancangan alat AVR dengan menggunakan PID sebagai kendali lalu menganalisisnya didapatkan beberapa kesimpulan. Sensor tegangan cukup baik digunakan untuk pembacaan nilai tegangan dan memiliki sensitifitas yang baik pula. Sistem Eksitasi sudah mampu mengendalikan tegangan yang akan disuplai pada kumparan medan generator sinkron 3 fasa sesuai kebutuhan. AVR dengan PID sudah mampu bekerja menstabilkan tegangan terminal generator sinkron 3 fasa dimana set point yang digunakan yaitu 220V dengan nilai $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; $K_d = 0$ dimana respon transiennya Delay time = 0.05 s, Rise time = 0.08 s, Peak time = 1 s, max overshoot = 9.5%, Setling time = 4.5 s, Error steady state = 0%. AVR dengan PID mampu memperbaiki error pada sistem dan menstabilkan tegangan sesuai dengan tegangan nominal yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu 220V baik ketika diberi beban ataupun tidak diberi beban, di mana ketika diberi beban resistif tegangan mengalami undervoltage di tegangan 202V namun sistem mampu memperbaiki pada tegangan 220V dalam waktu 1.5 s, ketika diberi beban induktif tegangan mengalami undervoltage di tegangan 190V namun sistem mampu

memperbaiki pada tegangan 220V dalam waktu 1.2 s, ketika diberi beban kapasitif tegangan mengalami overvoltage di tegangan 245V yang mana sistem mampu memperbaiki pada tegangan 220V dalam waktu 2.5 s.

REFERENSI

- [1] A. A. Alam, Syarial, and N. Taryana, "Pemodelan dan Simulasi Automatic Voltage Regulator untuk Generator Sinkron 3 kVA Berbasis Proportional Integral," J. Reka Elkomika, vol. 3, no. 2, pp. 97–110, 2015.
- [2] E. C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga, 1993.
- [3] I. Robandi, *Modern Power System Control*. Yogyakarta: ANDI, 2009.
- [4] K. Ogata, *Ogata, Katsuhiko. Teknik kontrol Automatik jilid 1*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [5] T. D. Pamungkas, U. Sutisna, and Y. R. Fauzan, "Penerapan Algoritma Fuzzy Untuk Optimasi Kontroler PID Pada Sistem Kontrol AVR Generator 3 Fasa 480VA Berbasis Mikrokontroler ATmega16," Iteks, vol. 10, no. 2, 2018.
- [6] S. Armansyah, "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal," J. Tek. Elektro UISU, vol. 1, no. 3, pp. 48–55, 2016.
- [7] P. Jati, "Simulasi kendali proportional integral derivative dan logika fuzzy pada sistem eksitasi automatic voltage regulator dengan simulink Matlab," Phys. Commun., vol. 1, no. 1, pp. 93–98, 2017.
- [8] A. P. Widiastuti, T. Winarno, and S. Nurcahyo, "Implementasi Prototype Robot Line Following Untuk Pengantar Barang Pada Area Berbahaya Dengan Kontrol PID," J. Elkolind, vol. 3, no. 1.