

RANCANG BANGUN KONTROL PID PADA *SPEED OBSERVER* GENERATOR DC BERBASIS ARDUINO UNO

M. Galih Adi P.¹, Bambang Sri Kaloko¹

¹Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: galihprakoso1927@gmail.com

ABSTRACT

In this study discusses the development of observer to the generator speed direct current (DC) that is controlled using the rotary encoder sensor built using the Arduino UNO with recording capability of the two systems is also compared. Testing is done to see readings observer error indicates that the observer is sufficient with an average error of 0.81% of the speed sensor readings in this case be used as a standard. Application of PID control as the control of the speed observer DC generators that keep the generator speed setpoint despite the load current increases. Referring to the curve of speed and power relations in the prime mover speed setpoint is to improve the reliability and performance of the DC generator. PID control makes speed generator is stable at voltage setpoint. PID parameters used are $K_p = 0.77$, $K_i = 0.0083$ and $K_d = 0.0096$. After applying PID control value obtained rise time of 0.51 s, the steady-state error 1:28%. Testing is done by giving a resistive load to the setpoint speed of 1500 rpm, 2000 rpm and 3000 rpm and load variations that are used 50 Ω and 25 Ω . For steady-state error value obtained supreme 17:21% when the setpoint of 3000 rpm and the lowest was 0.004% at 2000 rpm setpoint. The highest value of recovery time on a setpoint of 3000 rpm that can not be returned to the setpoint and the lowest was 0.6 s current setpoint 1500 rpm.

Keywords: Arduino Uno R3, DC Generator, PID, Speed Observer

PENDAHULUAN

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik searah. Secara umum generator DC tidak berbeda dengan motor DC kecuali pada arah aliran daya. Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah DC dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu : generator berpenguatan terpisah dan generator berpenguatan sendiri [1].

Kecepatan generator DC dapat dikontrol dengan mengubah tegangan yang diberikan ke armature atau dengan mengubah arus. Modern Generator DC sering dikendalikan oleh sistem elektronik disebut DC drive. Perhitungan kecepatan di motor penting. Hal ini dapat digunakan dalam proses kontrol. Kecepatan pengukuran adalah mengharuskan untuk proses pengendalian, pemantauan, pengujian, dll. Pendekatan konvensional untuk mengukur kecepatan adalah speedometer, seperti *encoders*,

tachometer, dan sebagainya. Dalam penelitian ini, untuk mengatasi ketidakefektifan dari *hall effect* dengan melakukan perhitungan kecepatan menggunakan Observer. Sebuah observer kecepatan menggunakan pendekatan nilai tegangan dan arus pada generator, dimana besar tegangan dan arus generator digunakan untuk mengetahui nilai kecepatannya. Untuk mengetahui nilai tegangan dan arus, peneliti menggunakan sensor tegangan dan arus. Dimana sensor tegangan dan arus bersifat statis atau diam, sehingga dapat dipasang dalam keadaan *plan* jarak jauh ataupun jumlah *plan* yang lebih dari satu. Monitoring akan lebih mudah karena dapat dipasang dalam satu DC *drive*.

Suatu *plan* dengan kehandalan yang tinggi membutuhkan sistem pengendali sebagai kontrol. Dalam hal ini peneliti menerapkan kontrol algoritma PID pada observer kecepatan. Kontrol konvensional PID sudah banyak dibahas pada penelitian-penelitian sebelumnya salah satu dipaparkan pada jurnal. Kontrol PID dapat mengatur suatu *plan* agar mendapatkan nilai

output yang diinginkan dengan mendapatkan nilai *feedback* dari nilai *output* pada *plan* dan stabil. Oleh karena itu kontrol PID ini dapat diimplementasikan untuk mengontrol kecepatan pada generator DC bila terjadi penurunan maupun peningkatan beban, kecepatan generator akan kembali ke *set point* yang sudah ditentukan dengan *feedback* kecepatan generator DC

TINJAUAN PUSTAKA

Generator Direct Current (DC)

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik yang menghasilkan arus DC atau arus searah. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (angker), jenis generator DC yaitu: generator penguat terpisah, generator shunt, generator kompon. Kecepatan ini penting pada generator karena tegangan *output* yang dihasilkan sebanding dengan kecepatan poros generator sebagaimana dinyatakan dalam persamaan [2].

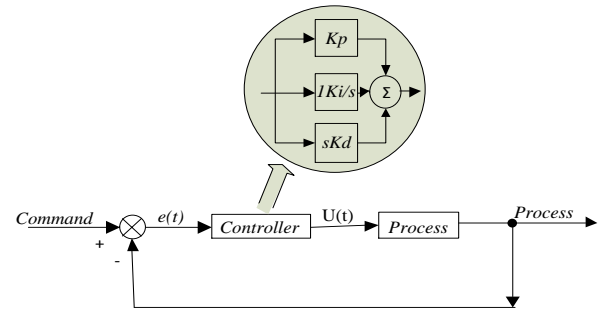
$$E_{eg} = k_m \omega_r$$

Sistem Speed Observer

Sampai saat ini belum ada publikasi yang khusus membahas tentang observer yang digunakan untuk menggantikan sensor seperti yang akan dilakukan dalam penelitian yang diusulkan. Pembahasan dalam bagian ini berkaitan dengan observer yang sudah dikembangkan dalam penelitian lain yang dapat digunakan sebagai rujukan dan diaplikasikan dalam kegiatan penelitian ini. Salah satu model observer kecepatan adalah observer yang berkeja berdasarkan prinsip komutasi. Hal ini dikarenakan pada generator arus searah yang berkerja dengan komutator dan brush selalu terjadi ripple, baik pada arus maupun pada tegangan *output* generator.

Sistem Kontrol PID

Pengendali PID telah secara luas digunakan dalam industri, yaitu hampir sebesar 90 %. Hal ini dikarenakan jika pengendali ini diatur dengan baik maka akan menghasilkan pengendalian PID yang sangat baik. Selain itu pengendali ini juga sederhana dan diimplementasikan dengan mudah. Skema pengendalian PID ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengendali PID

METODOLOGI PENELITIAN

Mencapai hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan yang diharapkan, tahapan dari penelitian ini selanjutnya direncanakan dalam tahapan – tahapan yang berisi kegiatan penelitian sebagaimana dijelaskan dalam bagian berikut

Blok Diagram Sistem

Perancangan diagram blok sistem pada gambar 2 adalah rancangan secara sederhana dari penelitian yang dilakukan. Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram sistem seperti terlihat pada gambar 2.

- (1) Ketika *prime mover* yaitu *air motor* diberi aliran udara dari kompresor akan berputar dan juga memutar generator, maka akan menghasilkan tegangan dan arus *output* tertentu. Dalam perancangan ini akan diberi beban yang bervariasi sehingga didapat arus *output* generator yang berubah-ubah. Nilai tegangan dan arus yang terbaca oleh sensor SV dan SA, kemudian dikonversikan menjadi nilai kecepatan putaran generator. Persamaan kecepatan dirubah ke dalam arduino uno R3 yang akan dijadikan *speed observer*

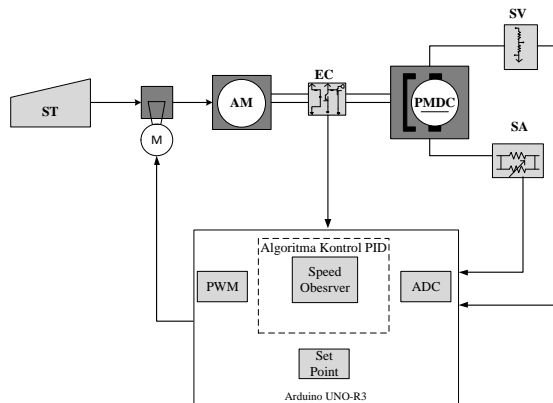
Perancangan Hardware

Dalam bagian ini akan dibahas mengenai pengujian perangkat keras yang diperlukan dan dibuat dalam penelitian ini. Hasil pengujian disajikan dan dibahas dalam Bab 4.

- 1) Perancangan Rangkaian INA 219

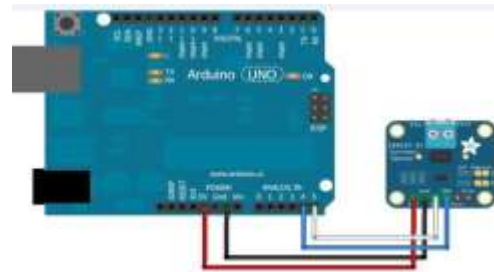
INA 219 pada penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi tegangan dan arus *output* pada generator DC. Dimana pin I/O sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pin yang digunakan adalah VCC 5 V, GND, A0 dan A1, SCL dan SDA yang akan dihubungkan dengan board microcontroller berupa arduino uno R3. Berikut wiring

rangkaian INA 219 dengan arduino UNO R3. Perancangan rangkaian INA 219 dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

algoritma PID pada arduino meliputi proses inialisasi, tuning parameter, akumulasi error dan perhitungan PID sebagai proses berjalannya motor servo yang digunakan untuk mengatur aliran tekanan udara yang masuk ke air motor sehingga kecepatannya dapat diatur.



Gambar 3. Wiring Rangkaian INA 219 Pada Arduino

Sistem Speed Observer

Untuk menentukan estimasi nilai kecepatan dari generator DC magnet permanen, maka dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan [3].

$$\omega_r = \frac{V_t + (i_{ag} R_{ag}) + (L_{ag} \frac{di_{ag}}{dt})}{k_m} \quad (2)$$

Persamaan kecepatan generator (2) masih dalam satuan rad/s yang harus dirubah ke dalam satuan rpm.

$$SO = \frac{30}{\pi} \omega_r \quad (3)$$

Sehingga

$$SO = \frac{V_t + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt}}{K_1} \quad (4)$$

Untuk kondisi *steady state* $\frac{di_a}{dt} = 0$ maka

$$SO = V_t K_2 + I_a R_a K_2 \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{1}{K_1}$$

Karena R_a adalah konstanta maka

$$SO = V_t K_2 + I_a K_3 \quad (6)$$

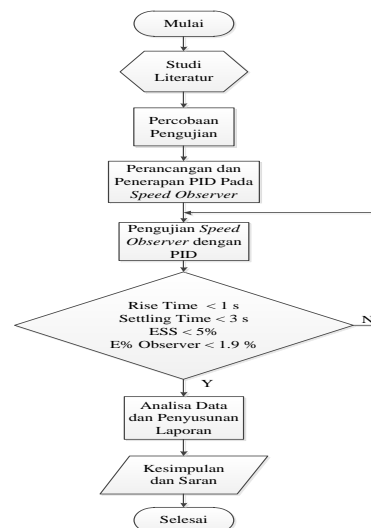
Dengan hubungan kecepatan dengan tegangan dan arus dapat ditulis dengan persamaan linier sebagai berikut.

$$SO = a + b_1 V_t + b_2 I_a \quad (7)$$

Kontrol PID

Perancangan kontrol PID diskrit diperlukan algoritma program kontrol PID agar menjadi kontrol yang sesuai yang akan dimasukkan ke dalam program arduino. Program

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kalibrasi

Tabel 1 membahas kalibrasi pada hasil pembacaan sensor dan alat ukur yang akan dijadikan acuan sebagai nilai *output* generator. Kalibrasi sensor ini meliputi kalibrasi terhadap sensor tegangan, arus, dan kecepatan. Dalam hal ini proses kalibrasi dilakukan dengan cara melakukan perbandingan antara alat ukur dengan hasil pembacaan sensor. Untuk persamaan *error* % seperti sebagai berikut.

$$E = \frac{H_p - H_t}{H_p} \times 100 \% \quad (8)$$

Dengan keterangan H_p merupakan hasil pengukuran dari alat ukur sedangkan H_t

merupakan pembacaan dari sensor. Dengan mempertimbangkan keperluan penelitian *speed observer* pada generator dimana kalibrasi seluruh sensor mempunyai rata – rata *error* persen dibawah 1 %.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Sensor

Tegangan (V)			Arus (A)			Kecepatan (rpm)		
Vp	Vt	E (%)	Cp	Ct	E (%)	Sp	St	E%
1.007	1	0.69	0.18	0.18	0	318	321	0.94
3.01	3	0.33	0.38	0.38	0	600	601	0.17
5.42	5.41	0.18	0.56	0.56	0	1231	1233	0.16
8.03	8.08	0.62	0.74	0.73	1.35	1540	1543	0.19
12.01	12.04	0.24	0.92	0.92	0	1851	1853	0.11
17	17.04	0.23	1.1	1.1	0	2130	2133	0.14
20.11	20.1	0.04	1.37	1.38	0.72	2412	2416	0.17
23.15	23.18	0.12	1.46	1.47	0.68	2705	2730	0.92
Rata-rata		0.28	Rata-rata		0.34	Rata-rata		0.35%

Pembentukan Persamaan *Speed Observer*

Pada gambar 5 menjelaskan, perubahan kecepatan *prime mover* dilakukan dengan mengatur *valve* yang dibuat dengan motor servo memutar kekanan maupun kekiri secara manual yang menandakan *valve* terbuka tertutup. Untuk mendapatkan nilai arus beban yang bervariasi dilakukan menambah dan mengurangi beban resistif pada generator. Percobaan dilakukan dengan mengambil data hubungan antara tegangan, arus dan kecepatan dari hasil pembacaan sensor. Data berikut akan digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta a, b1 dan b2 melalui perhitungan regresi linier.

Proses regresi linier menghasilkan nilai a = -3.9564, b₁= 150.3448 dan b₂= 351.2057, sehingga Persamaan (7) dapat dituliskan sebagai:

$$SO = -3.9564 + 150.3448VS + 351.2057CS$$

Persamaan (9) adalah persamaan observer kecepatan yang kemudian digunakan untuk menggantikan pembacaan sensor kecepatan SS [4].

Pengujian *Speed Observer*

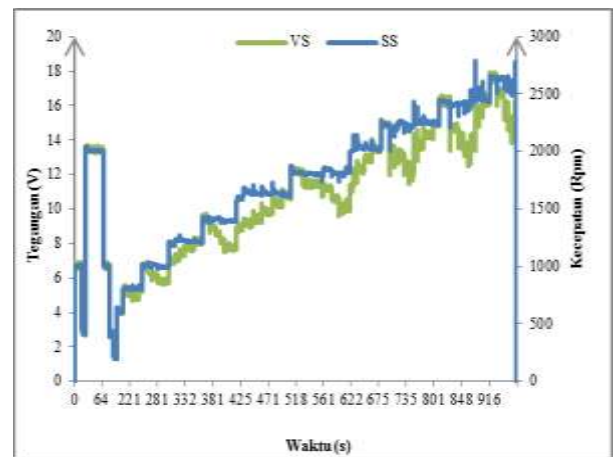
Pengujian untuk kerja observer kecepatan ini dilakukan dengan melakukan beberapa percobaan. Percobaan pertama dilakukan untuk melihat error pembacaan observer terhadap pembacaan SS. Gambar grafik 6 dibuat berdasarkan data keseluruhan observer kecepatan. Perhitungan *error* rata-rata dari pembacaan observer terhadap sensor kecepatan adalah 0.8 %. Untuk *error* terbesar saat kecepatan generator rendah yaitu 202 rpm dengan *error* 4.30 %.

Pengambilan data observer yaitu dari *range* kecepatan terendah yaitu 195 rpm sampai kecepatan tertinggi sebesar 3087 .

Pengujian *Speed Observer* dengan Kontrol PID

1) Metode *Manual Tunning* PID

Parameter PID terdiri dari K_p untuk parameter *proportional*, K_i untuk parameter *Integral* dan K_d untuk parameter *Derivative* seperti pada tabel 2. Untuk mendapatkan parameter – parameter ini dilakukan metode *manual tuning* yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut data pengujian dari pemberian nilai K_p, K_i dan K_d pada kontrol PID. Parameter – parameter kontrol terbaik yang digunakan adalah K_p = 0.077, K_i = 0.0083 dan K_d = 0.0096 [5]



Gambar 5. Grafik Perbandingan VS, SS dan CS

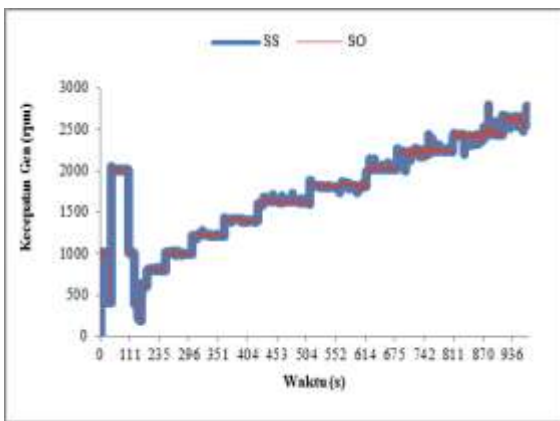
2) Pengujian PID Terhadap Observer Kecepatan Bervariasi

Pengujian kontrol PID terhadap observer dengan kecepatan yang bervariasi ditujukan untuk melihat seberapa besar respon yang dihasilkan kontrol terhadap kecepatan generator dengan target kecepatan yang berubah-ubah. *Setpoint* kecepatan yang digunakan antara lain 1500 rpm, 2000 rpm dan 3000 rpm. Variasi kecepatan dapat dilihat pada gambar grafik 7.

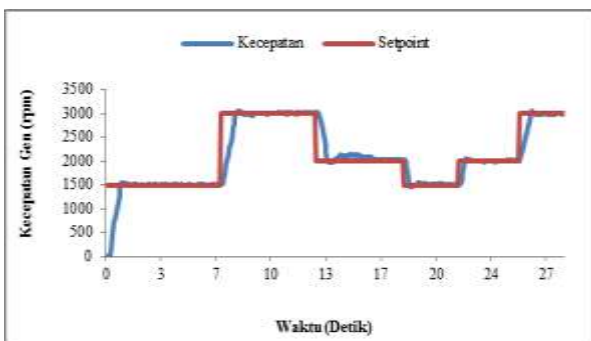
Parameter PID yang sudah ditentukan menghasilkan kontrol saat *setpoint* 1500 rpm dengan nilai *rise time* 0.59 s, *setling time* 0.93 s, *overshoot* 3.03 % dengan *error steady-state* sebesar 0.08 %. Selanjutnya saat kecepatan naik dari 1500 rpm ke 3000 rpm menghasilkan *rise time* sekitar 1.01 s, *overshoot* 1.52 %, *setling time* 1.21 s dan *error steady-state* 0.08 %. Kemudian saat kecepatan turun dari 3000 rpm ke 2000 rpm menghasilkan *rise time* sekitar 1.09 s, *undershoot* 1.52 %, *setling time* 2.27 s dan *error steady-state* 1.54 %.

Tabel 2. Manual Tuning PID

Kp	Ki	Kd	Rise Time (s)	Settling Time (s)	ESS (%)	Peak (%)
0.77	0	0	0.46	0.86	0.69	4.72%
1	0	0	0.33	0.79	0.29	5.94%
1.17	0	0	0.33	1.05	0.76	6.85%
0.77	0.0083	0	0.52	1.05	1.75	4.70%
1	0.0047	0	0.3	0.7	1.2	6.70%
1.17	0.0006	0	0.45	1.05	1.38	8.71%
0.77	0.0083	0.0096	0.45	0.85	0.92	2.22%
1	0.0047	0.0015	0.39	1.25	1.14	5.04%
1.17	0.0006	0.0001	0.39	1.05	0.98	6.51%



Gambar 6. Grafik Perbandingan Sensor Kecepatan dan Observer



Gambar 7. Grafik Observer Kecepatan Variasi

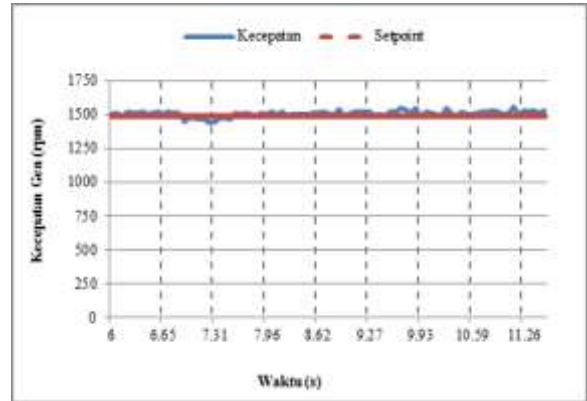
3) Pengujian PID Terhadap Obserever Kecepatan Berbeban

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan target kecepatan 1500 rpm yang diberi pembebanan resistif. Pemberian beban terdapat dua variasi beban yaitu 50 Ω dan 25 Ω

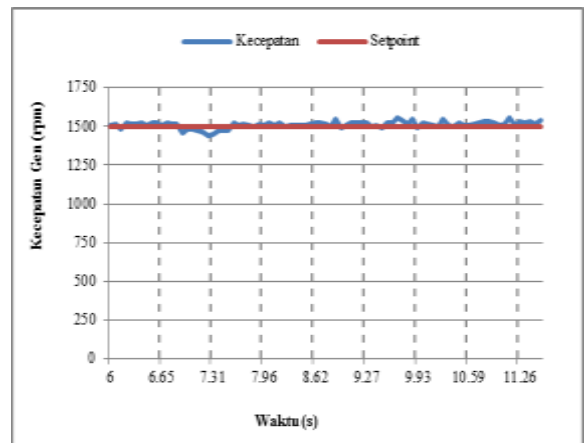
a) Pembebanan 50 Ω

Pada pengujian *setpoint* 1500 rpm diberikan beban 50 Ω dan 25 Ω. Diperoleh data saat pemberian beban 50 Ω terjadi *undershoot* 5.27 % sehingga terjadi *drop*

kecepatan 79.02 rpm dari *setpoint* 1500 rpm. Waktu kembali mencapai *setpoint* dari *drop* kecepatan sekitar 0.59 s dan untuk *error steady-state* yang terjadi adalah sebesar 0.81 % yang dapat dilihat pada gambar grafik 8.



Gambar 8. Grafik Pembebanan 50 Ω



Gambar 9. Grafik Pembebanan 25 Ω

b) Pembebanan 25 Ω

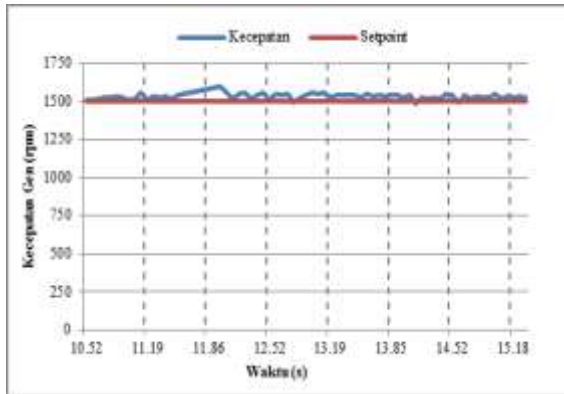
Pada saat pemberian beban 25 Ω diperoleh nilai *undershoot* mencapai 3.77 % sehingga terjadi *drop* kecepatan 56.51 rpm dari *setpoint*. Waktu kembali mencapai *setpoint* sekitar 0.66 s dan *error steady-state* sebesar 1.1 % seperti gambar 9.

c) Pelepasan Beban 25 Ω

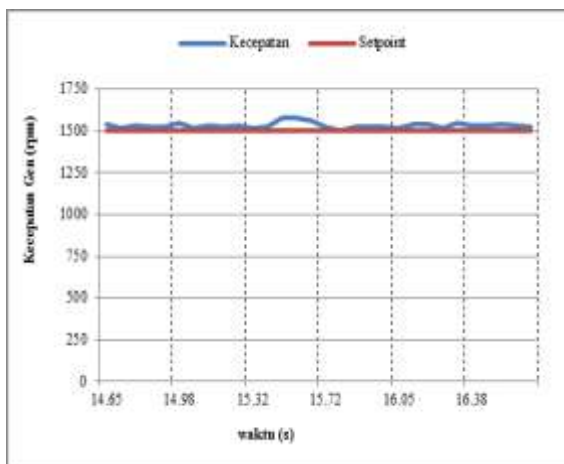
Sedangkan saat melakukan pelepasan beban 25 Ω diperoleh data sebagai berikut yaitu terjadi *overshoot* kecepatan sebesar 6.66 %, sehingga mengalami *drop* mencapai 99.85 rpm. Waktu yang dibutuhkan untuk kembali *setpoint* sekitar 0.53 s dan terjadi *error steady-state* yang meningkat cukup signifikan yaitu sebesar 2.19 % seperti gambar 10.

d) Pelepasan 50 Ω

Sedangkan saat pelepasan beban 50 Ω diperoleh data sebagai berikut yaitu terjadi *overshoot* mencapai 5.5%, terjadi *drop* hingga 75.26 rpm. *Recovery time* yang dibutuhkan untuk kembali ke *setpoint* sekitar 0.67 s. Dengan terjadinya *overshoot* yang cukup tinggi justru memperoleh *error steady-state* yaitu sebesar 2.20 % seperti gambar 11.



Gambar 10. Grafik Pelepasan Beban 25 Ω



Gambar 11. Grafik Pelepasan 50 Ω

KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengujian dan analisis data yang telah dilakukan adalah :

1. Hubungan dari tegangan dan arus sangat penting untuk membentuk sebuah observer kecepatan. Seperti yang sudah dijelaskan, untuk mencari nilai *speed observer* yaitu melalui analisis hubungan tegangan dan arus *output* generator dengan nilai tegangan 11.86 V dan arus 1.23 A menghasilkan *speed observer* 2211 rpm dengan pembacaan sensor kecepatan 2213 rpm. Pembangunan persamaan *speed observer* menggunakan teori regresi linier menggunakan perhitungan matlab.

2. Perancangan kontrol PID pada pengujian ini menggunakan metode *manual tuning*. Kontrol PID yang digunakan sebagai pengaturan kecepatan pada *speed observer* generator DC didapatkan nilai parameter kontrol PID yang sesuai dengan plan adalah $K_p = 0.77$, $K_i = 0.0083$, dan $K_d = 0.0096$. Pada pengujian kontrol PID saat digunakan *setpoint* yang bervariasi tanpa beban, rise time tercepat yaitu sekitar 0.48 s dan *error steady-state* terkecil 0.02 % terjadi saat *setpoint* 2000 rpm akan tetapi membutuhkan *setling time* yang cukup lama yaitu sekitar 2.28 s.

SARAN

Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Kontrol PID dapat dikembangkan dengan kontrol *hybrid* yaitu PID-Fuzzy agar dapat mengurangi presentase *overshoot* dan *peak*.
2. Pada *plan* yang digunakan dapat mengganti *coupling shaft* yang lebih kuat agar tidak terjadi slip.
3. Generator yang digunakan dapat diganti dengan generator AC.
4. Motor servo sebagai *valve* dapat diganti dengan *electric valve* ataupun *pneumatic valve* agar menghasilkan *recovery time* yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hameyer, K. (2001). *Electrical Machines*. Aachen: Institut für Elektrische Maschinen der RWTH Aachen.
- [2] Chapman. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*. New York: Library of Congress Cataloging.
- [3] Hasan, I. (2004). *Analisis Data Penelitian Dengan Statistik*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- [4] Widjonarko, Setiawan, A., & Afiliati. Pengembangan Observer untuk Pendeteksi Kecepatan Brushed DC Generator NC475. *elektronik Jurnal Arus Elektro Indonesia (eJAEI)*.
- [5] Patil, Jogalekar, S., R. J., & S. J. (2013). Tachogeneratorless Speed Control of Separately Excited DC/PMDC Motor Using Observer. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 1086-1091