

PERANCANGAN ALAT PERAGA KENDALI PID ANALOG PADA SISTEM KECEPATAN PUTAR MOTOR DC

MODEL INSTRUMENT ANALOG PID CONTROLLER FOR DC MOTOR SPEED CONTROL

Puji Syukri¹, Muhammad Zakkiyullah Romdlony², Agung Surya Wibowo³
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹pujisyukri¹@student.telkomuniversity.ac.id, ²zakkiyullah@telkomuniversity.co.id,
³agungsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sebagai penunjang terselenggaranya proses belajar mengajar materi kendali PID, program studi teknik elektro universitas telkom mengadakan modul praktikum "Proportional, Integral and Derivative Control" di bawah Laboratorium Sistem Kendali Dasar (SKD). Dalam praktiknya kegiatan praktikum memerlukan suatu alat peraga yang memadai, akan tetapi ketersediaan alat peraga di lab terbatas, sementara harga alat peraga komersial sangat mahal. Maka dari itu dibutuhkan suatu alat peraga yang lebih murah dan mencukupi kebutuhan. Penelitian pada tugas akhir kali ini berfokus hanya untuk membuat alat peraga yang lebih murah dan mencukupi kebutuhan kegiatan praktikum.

Sistem yang dibuat berupa sistem kendali close loop dengan beberapa bagian inti yaitu kendali PID analog yang terdiri dari op-amp sebagai penyusun rangkaiannya, sensor efek hall untuk mendeteksi kecepatan motor yang nantinya akan ditampilkan pada serial monitor arduino, dan DAC untuk mengembalikan kembali nilai digital ke analog yang nantinya akan di bandingkan dengan setpoint.

Hasil yang telah dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah alat peraga yang dibuat berharga kurang dari 1/10 harga produk komersial, yaitu sebesar Rp. 1.442.200,00, memiliki rentang kecepatan motor dc 34 – 416 Rpm dan resolusi 34,67 Rpm.

Kata kunci : PID analog, Kecepatan motor dc

Abstract

To support the implementation of the teaching and learning process of PID control material, the telkom university electrical engineering study program held a "Proportional, Integral and Derivative Control" practicum module under the Sistem Kendali Dasar laboratory (SKD). In practice practicum activities require an adequate instrument, but the availability of instrument in the lab is limited, while the price of commercial instrument is very expensive. Therefore, we need a instrument that are cheaper and meet the needs. The research in this final project focuses only on making intrument that are cheaper and meet the needs of practicum activities.

The system is made in the form of a close loop control system with several core parts, namely an analog PID control consisting of an op-amp, a hall effect sensor to detect motor speed which will later be displayed on an arduino serial monitor, and a DAC to return digital values back to analog which will later be compared with a setpoint.

The results achieved in this final project are instrument that are made worth less than 1/10 the price of commercial products, which is equal to Rp. 1.442.200,00, has a speed range of dc motors from 34 to 416 Rpm, and a resolution of 34,67 Rpm.

Keywords: Analog PID, Speed of DC motor

1. Pendahuluan

Sebagai penunjang terselenggaranya proses belajar mengajar materi kendali PID, maka program studi teknik elektro universitas telkom mengadakan modul praktikum "Proportional, Integral and Derivative Control" di bawah Laboratorium Sistem Kendali Dasar (SKD). Dalam praktiknya kegiatan praktikum memerlukan suatu alat peraga yang memadai, penggunaan alat peraga dimaksudkan agar mahasiswa dapat cepat memahami, mengerti, efektif, dan efisien dalam menerima materi pembelajaran. Akan tetapi ketersediaan alat peraga di lab terbatas, sementara harga

alat peraga komersial sangat mahal sehingga hal itu tentu menjadi penghambat dalam proses kelancaran kegiatan praktikum ini.

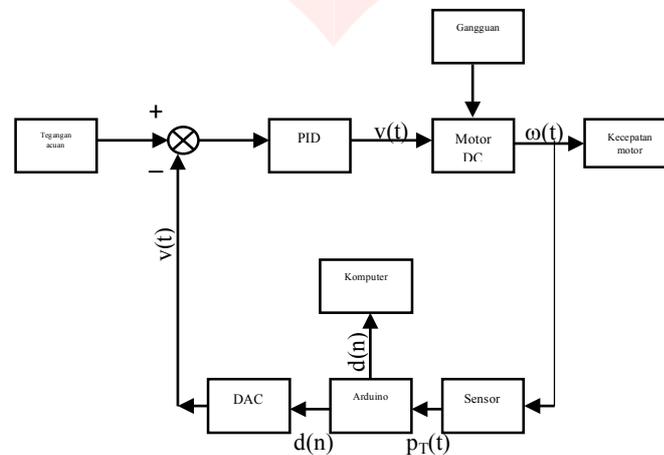
Adapun penggunaan motor dc sebagai plant suatu alat peraga sudah dilakukan oleh alat komersial ini [2][3]. Motor DC (Direct Current) merupakan salah satu jenis aktuator yang dapat mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa putaran. Penggunaan motor dc begitu luas mulai dari mainan anak-anak sampai dunia industri. Contoh penerapannya seperti sebagai penggerak mobil mainan, drone mesin CNC, belt conveyor, mesin pemintal benang dan lain sebagainya, itu karena motor dc mempunyai keuntungan torsi awal yang tinggi serta kecepatannya dapat dikendalikan secara sederhana, cukup dengan mengatur suplai tegangannya saja. Sehingga dengan keuntungan itu motor dc cocok digunakan sebagai plant dalam suatu alat peraga.

Dengan demikian untuk memenuhi kebutuhan alat peraga tersebut pada tugas akhir ini akan dibuat suatu alat peraga kendali PID analog yang akan diterapkan untuk mengendalikan kecepatan putar motor dc. Alat peraga yang dibuat diharapkan dapat berkerja pada rentang kecepatan 0 – 1200 rpm, resolusi 100 rpm, dan biaya kurang dari 1/10 harga produk komersial.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Prinsip Kerja Konsep

Prinsip kerja konsep untuk mendapatkan alat peraga yang diinginkan dapat direpresentasikan dalam diagram blok berikut:



Gambar 1. Prinsip Konsep Solusi

- $v(t)$ = Sinyal tegangan
- $\omega(t)$ = Sinyal kecepatan putar motor
- $p_T(t)$ = Pulsa periodik
- $d(n)$ = Sinyal digital

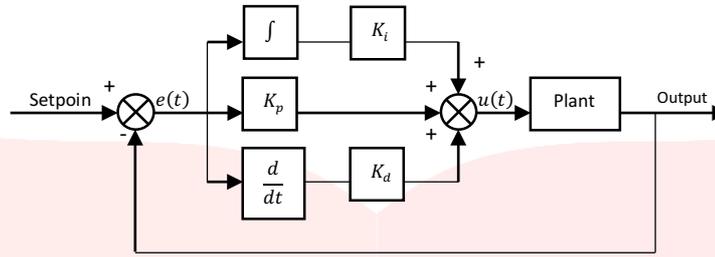
Prinsip kerja dari alat peraga yang dibuat adalah sebagai berikut:

1. Pengguna mengatur nilai tegangan acuan yang diinginkan.
2. Motor berputar berdasarkan tegangan acuan yang diberikan.
3. Gangguan ditempatkan pada pelat motor.
4. Sensor mendeteksi kecepatan putar motor.
5. Arduino mengolah nilai dari sensor supaya dapat dibaca
6. Komputer menampilkan nilai baca dari Arduino
7. DAC mengubah sinyal digital menjadi analog
8. Sistem membandingkan tegangan keluaran dari sensor dengan acuan.
9. Bila nilai tegangan keluaran tidak sama dengan acuan, kendali PID akan memproses nilainya supaya sama.
10. Bila nilai tegangan keluaran sudah sama dengan acuan, kendali PID akan mempertahankan nilai tersebut.

2.2 Kendali PID

Kendali PID adalah mekanisme kendali umpan balik untuk menentukan akurasi dan presisi suatu sistem, terdiri dari tiga kendali (*Proportional-Integral-Derivative*). Dalam rangka memperbaiki respons sistem untuk mendapatkan sinyal aktual yang diinginkan masing-masing kendali pada PID memberikan kontribusinya dengan cara menurunkan rise time, mengeliminasi

steady state error, dan meredam overshoot. Bahkan dalam beberapa aplikasi kendali derivatif tidak digunakan karena proporsional saja sudah cukup cepat dalam mengantisipasi overshoot.



Gambar 2. Diagram Blok Kendali PID

Diagram blok keseluruhan sistem kendali PID dari gambar 2 dapat diekspresikan dalam sebuah persamaan matematis

$$\mu(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

- $\mu(t)$ = Sinyal keluaran sistem
- $e(t)$ = Sinyal eror
- K_p = Konstanta proporsional
- K_i = Konstanta integral
- K_d = Konstanta derivatif

2.3 Alat Peraga PID Analog komersial

Alat peraga pid analog yang ada dipasaran cukup beragam dengan berbagai harga, ada dua alat peraga yang sering digunakan oleh beberapa universitas di Indonesia yaitu MS150 Modular Servo System, dikeluarkan oleh Feedback Instruments dan ACS-1000 Analog Control System yang dikeluarkan oleh K&H MFG, kedua alat tersebut mempunyai keunggulan yang sama yakni dapat terintegrasi dengan perangkat lunak Matlab dan dilengkapi dengan motor dc sebagai plant serta tentunya dapat digunakan dalam mengendalikan kecepatan maupun posisi. Keberadaan kedua alat tersebut untuk saat ini sulit dijangkau sehingga harganya pun susah untuk diketahui, kemungkinan kedua alat tersebut sudah tidak di produksi lagi oleh pengembang.

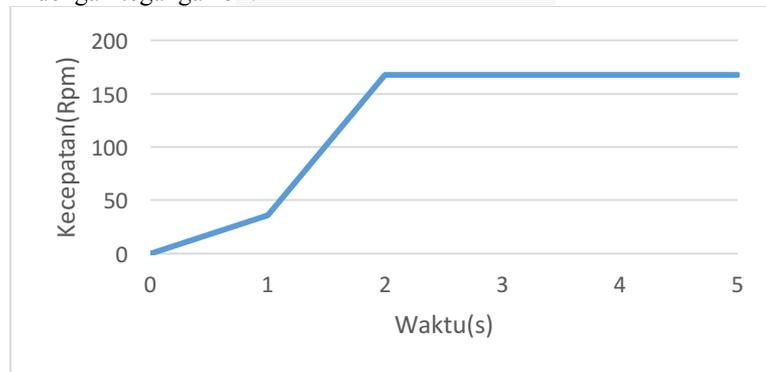
Ada beberapa alat peraga yang mempunyai fungsi yang mirip dengan kedua alat peraga tersebut, diantaranya ada SIM960 Analog PID Controller dikeluarkan oleh Stanford Research Systems yang dibanderol dengan harga 1.750 dolar atau setara dengan 24.819.375 rupiah. Alat ini mempunyai keunggulan mengkombinasikan antara sinyal analog dengan kendali digital serta bantuan kendali lup bandwidth yang tinggi (100khz) sehingga dapat memungkinkan penggunaannya tanpa waktu diskrit atau artefak kuantisasi.

3. Perancangan Sistem

3.1. Pemodelan Plant

Model matematis motor dc dapat diketahui dengan cara pengujian, pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan pada motor,

a. Pengujian 1 dengan tegangan 5 V



Gambar 3. Grafik Pengujian Tegangan 5V

$$Motor = \frac{K}{\tau s + 1} = G(s) \tag{2}$$

$$K = \frac{Kecepatan\ saat\ steady\ state}{Tegangan\ input} \tag{3}$$

$$K = \frac{168}{5} = 33,6 \tag{4}$$

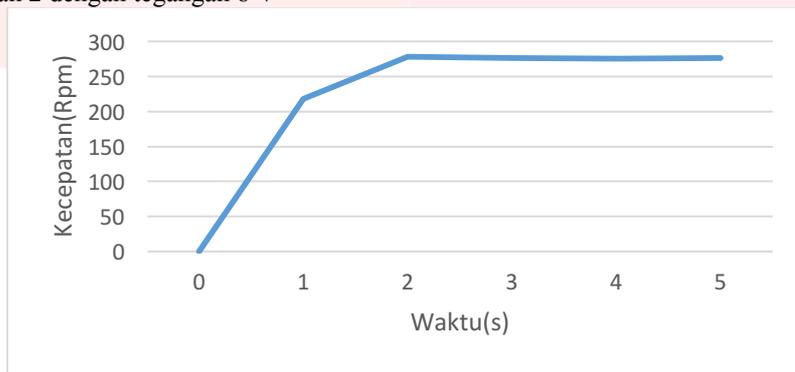
$$T_s = 4\tau \tag{5}$$

$$\tau = \frac{waktu\ tunak}{4} \tag{6}$$

$$\tau = \frac{2}{4} = 0,5 \tag{7}$$

$$G(s) = \frac{33,6}{0,5s + 1} \tag{8}$$

b. Pengujian 2 dengan tegangan 8 V



Gambar 4. Grafik Pengujian Tegangan 8V

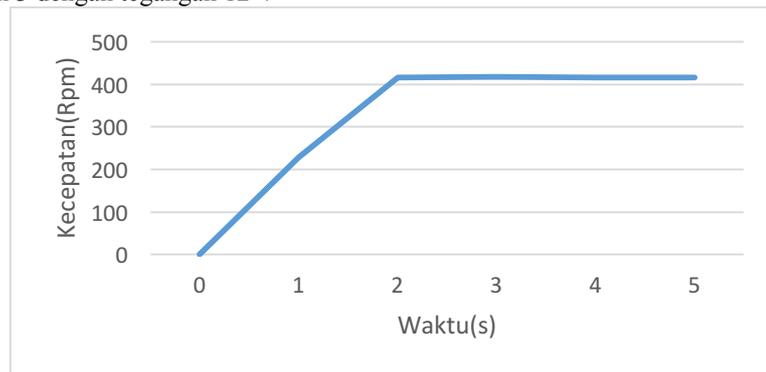
$$K = \frac{278}{8} = 34,75 \tag{9}$$

$$T_s = 4\tau \tag{10}$$

$$\tau = \frac{2}{4} = 0,5 \tag{11}$$

$$G(s) = \frac{34,75}{0,5s + 1} \tag{12}$$

c. Pengujian 3 dengan tegangan 12 V



Gambar 5. Grafik Pengujian Tegangan 12V

$$K = \frac{416}{12} = 34,67 \tag{13}$$

$$T_s = 4\tau \tag{14}$$

$$\tau = \frac{2}{5} = 0,5 \tag{15}$$

$$G(s) = \frac{34,67}{0,5s + 1} \tag{16}$$

Diambil rata – rata ketiganya

$$G(s) = \frac{34,34}{0,5s + 1} \tag{17}$$

3.2 Desain PID

$$PID = \frac{V(s)}{E(s)} = \frac{K_p s + K_i + K_d s^2}{s} = C(s) \tag{18}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \tag{19}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\left(\frac{k_p s + k_i + k_d s^2}{s}\right) \left(\frac{34,34}{0,5s+1}\right)}{1 + \left(\frac{k_p s + k_i + k_d s^2}{s}\right) \left(\frac{34,34}{0,5s+1}\right)} \tag{20}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{(k_p s + k_i + k_d s^2)(34,34)}{0,5s^2 + s + (k_p s + k_i + k_d s^2)(34,34)} \tag{21}$$

$$s^2 + \frac{(2+68,68k_p)s + 68,68k_i}{68,68+1} = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \tag{22}$$

Misalkan pengguna menginginkan maksimum overshoot 10% dan waktu tunak 1,5 detik

$$\zeta = 0,6 - 0,6(M_p) = 0,6 - 0,6(0,1) = 0,54 \tag{23}$$

$$\omega_n = \frac{4}{t_s \zeta} = \frac{4}{1,5(0,54)} = 4,94 \tag{24}$$

$$s^2 + \frac{(2 + 68,68k_p)s + 68,68k_i}{68,68k_d + 1} = s^2 + 2(0,54)(4,94)s + (4,94)^2 \tag{25}$$

Untuk koefisien dari variabel s

$$\frac{2 + 68,68k_p}{68,68k_d + 1} = 2(0,54)(4,94) = 5,34 \tag{26}$$

$$68,68k_p - 366,75k_d = 5,34 - 2 = 3,34 \tag{27}$$

Untuk konstanta pada persamaan (25)

$$\frac{68,68k_i}{68,68k_d + 1} = (4,94)^2 = 24,4 \tag{28}$$

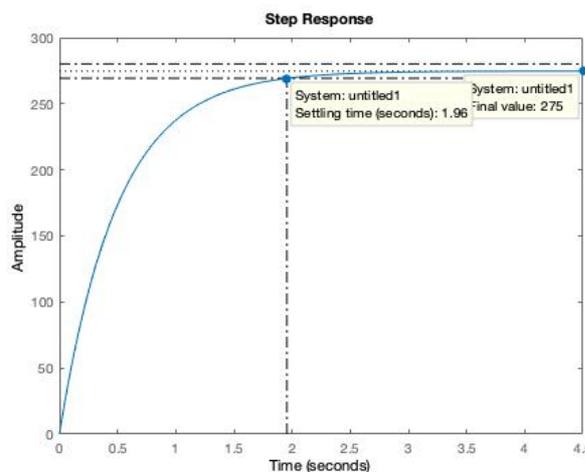
$$68,68k_i - 1675,79k_d = 24,4 \tag{29}$$

Sehingga

$$k_p = \frac{3,34}{68,68} = 0,05 \tag{30}$$

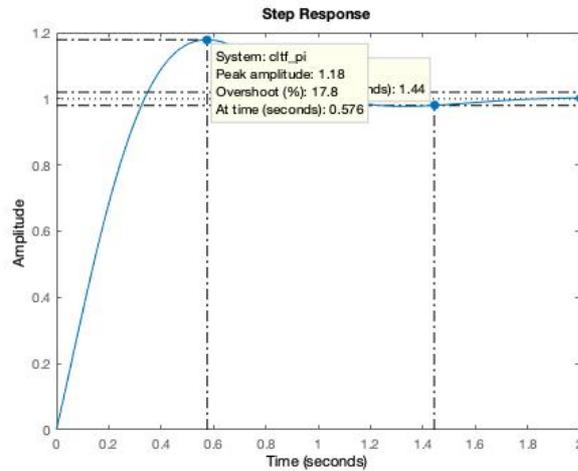
$$k_i = \frac{24,4}{68,68} = 0,36 \tag{31}$$

3.3 Simulasi Matlab



Gambar 6. Model Motor DC Input 8V

Terlihat pada gambar 6 waktu tunak 1,96 detik dan nilai keadaan tunak 275 Rpm mirip dengan gambar 4 waktu tunak 2 detik dan nilai keadaan tunak 278 Rpm. Ini membuktikan bahwa model motor dc yang didapat sudah sesuai dan mewakili keadaan aslinya.

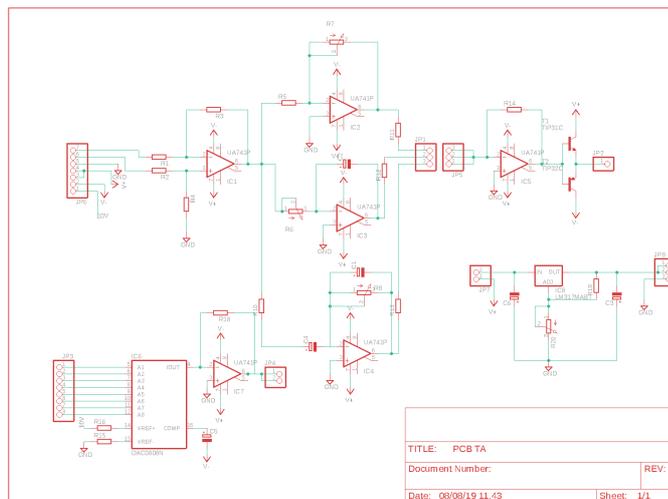


Gambar 7. Respon dari keseluruhan sistem

Respon yang diinginkan berupa maksimum overshoot 10% dan waktu tunak 1,5 detik, terlihat pada gambar 7 respon yang disimulasikan sudah mirip yakni maksimum overshoot 17,8% dan waktu tunak 1,44 detik, sehingga proses perancangan alat peraga yang dibuat bisa berlanjut ke tahap berikutnya.

3.4 Desain Rangkaian

Rangkaian elektronika dari alat peraga yang telah dibuat, ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 8. Skema PCB

4. Hasil Dan Analisis

4.1. Pengujian Alat Peraga Tanpa Beban

Nilai k_p dan k_i yang didapat dari perancangan sebelumnya diterapkan pada rangkaian elektronika dengan cara mengatur nilai dari potensiometer.

$$K_p = -\frac{R_2}{R_1} \tag{32}$$

$K_p = -0,05$, tanda negatif menunjukkan rangkaian *inverting*.

$R_1 = 10\text{ K}\Omega$, ditentukan terlebih dahulu.

$$R_2 = -(-0,05)(10\text{ K}\Omega) \tag{33}$$

$$R_2 = 500\ \Omega \tag{34}$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai $k_p = 0,05$, perlu memutar potensiometer sampai nilai 500 Ω .

Untuk nilai k_i

$$K_i = -\frac{1}{R_1 C} \tag{35}$$

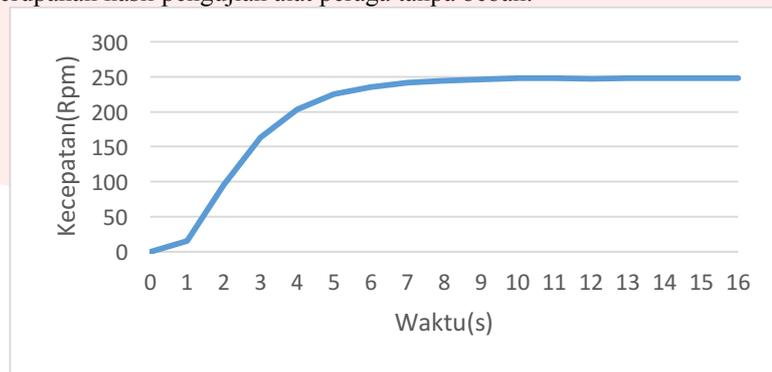
$$K_i = -0,36$$

$$C = 100 \mu f$$

$$R_1 = -\frac{1}{(-0,36)(100 \mu f)} \tag{36}$$

$$R_1 = 27777,78 \Omega \tag{37}$$

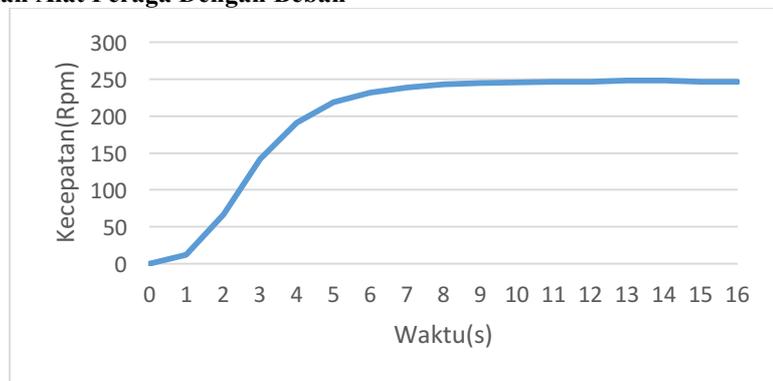
Sehingga untuk mendapatkan nilai $k_i = 0,36$, perlu memutar potensiometer sampai nilai 28 K Ω . Berikut merupakan hasil pengujian alat peraga tanpa beban.



Gambar 9. Grafik Alat Peraga Tanpa Beban

Dengan *setpoint* sebesar 7,27 V atau 248 Rpm, terlihat pada gambar 9 didapat waktu tunak sekitar 10 detik, nilai keadaan tunak 248 Rpm, dan maksimum overshoot kurang dari 10%. Hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan target yang ingin dicapai terutama waktu tunak yang melebihi target kurang dari 1,5 detik. Waktu tunak yang terlalu lama disebabkan oleh adanya noise pada op-amp, karena pada kenyataannya op-amp yang digunakan tidak ideal dan praktiknya memiliki offset tegangan input, meskipun sangat kecil tetapi tetap dapat memengaruhi kinerja dari op-amp, terutama rangkaian integral.

4.2. Pengujian Alat Peraga Dengan Beban



Gambar 10. Grafik Alat Peraga Dengan Beban

Dengan *setpoint* yang sama namun diterapkan pada alat peraga dengan tambahan beban pada pelatnya, terlihat pada gambar 10 nilai waktu tunak sekitar 13 detik, nilai keadaan tunak 248 Rpm, dan maksimum overshoot kurang dari 10%. Nilai keadaan tunak yang sama dengan *setpoint* (248 Rpm) sudah menunjukkan bahwa meskipun ada penambahan beban, tetap kecepatan putar motor dapat kembali ke keadaan normal, sementara waktu tunak yang melebihi waktu tunak tanpa beban (10 detik) menunjukkan bahwa alat peraga membutuhkan waktu tambahan untuk mencapai keadaan tunak dikarenakan adanya tambahan beban, itu normal dan dapat dikatakan alat peraga yang dibuat sudah bekerja dengan baik.

4.3. Biaya Pembuatan

Tabel 1. Biaya Pengeluaran

No	Pengeluaran	Jumlah
1	Tokopedia DC motor PG28	482.000,00
2	Niaga Elektronik	95.750,00

3	Central Electronics	70.600,00
4	Niaga Elektronik	28.000,00
5	Cetak PCB Spectra	60.500,00
6	Cetak PCB Multikarya	313.800,00
7	I want Electronics	240.550,00
8	CME Electronics	10.000,00
9	MRI dudukan motor	50.000,00
10	Biaya lain lain	91.000,00
Jumlah		1.442.200,00

Berdasarkan table 1 total biaya pengeluaran sebesar Rp. 1.442.200,00. Dengan demikian total biaya pengeluaran sudah memenuhi target dari $1/10 \times$ harga produk komersial.

5. Kesimpulan Dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari analisa dan pengujian alat peraga kendali pid analog pada kecepatan putar motor dc dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Total biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan alat ini kurang dari $1/10 \times$ harga produk komersial, yaitu sebesar Rp. 1.442.200,00
- Memiliki rentang kecepatan motor dc 34 – 416 Rpm dan resolusi 34,67 Rpm.
- Berdasarkan nilai maksimum *overshoot* dan waktu tunak yang diinginkan pengguna (10% dan 1,5 detik), dengan model motor yang sudah didapat, diperoleh nilai $K_p = 0,05$ dan $K_i = 0,36$.
- Setelah dilakukan percobaan pada alat peraga dengan nilai K_p dan K_i yang diperoleh, didapat maksimum *overshoot* kurang dari 10%, waktu tunak sekitar 10 detik dan keadaan tunak sesuai dengan *setpoint*.
- Hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan target perancangan terutama waktu tunak yang melebihi target, namun secara keseluruhan alat peraga sudah bekerja dengan baik.

5.2. Saran

Saran untuk pengembangan selanjutnya supaya alat dapat nyaman digunakan

- Menggunakan voltmeter digital yang langsung terhubung ke rangkaian untuk pengukuran tegangan input, supaya langsung bisa terlihat oleh pengguna.
- Rangkaian derivatif digunakan sebelum rangkaian feedback masuk ke komparator, supaya pengaruh dari derivatif terlihat.
- Harus mencari solusi supaya *offset* tegangan input op-amp tidak mempengaruhi kinerja terutama pada rangkaian integral yang nantinya menghambat respon (menurunkan settling time).

Daftar Pustaka:

- [1] W. S. Levin , Control System Fundamentals, Edisi ke-2. Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2010.
- [2] ACS 100 Analog Control System, K&H MFG. CO., LTD, San Chung.
- [3] Modular Servo Instructional Servo System, Feedback Group, East Succesx.
- [4] G. P. Shultz, Transformers and Motors. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1997.
- [5] M.Subchan Mauludin, Andi Kurniawan, "Perancangan Trainer PID Analog Untuk Mengatur Kecepatan Putaran Motor DC," Prosiding SNST ke-4, 2013.
- [6] Fitria Suryatini, Annisa Firasanti, "Kendali P, PI, Dan PID Analog Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Penalaran Ziegler-Nichols," JREC, Vol. 6, no.1, 2018.
- [7] Heri Haryanto, Sarif Hidayat, "Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC," SETRUM, vol.1, no.2, 2012.
- [8] Yanuangga Gala Hartlambang, Hidayatul Nurrohmah, Machrus Ali, "Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (*BAT ALGORITHM*)," Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi, 2017.
- [9] Waluyo, Aditya Fitriansyah, Syahrial, "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," Elkomika, vol. 1, no.2, 2013.
- [10] G. F. Franklin, J. D. Powell, A. E. Naeini, Feedback Control of Dynamic Systems, Edisi ke-7. Upper Saddle River : Pearson Higher Education, 2014.