

PROTOTYPE SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC DENGAN PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) CONTROLLER

Fahri Firdaus¹, Edvin Priatna², Nurul Hiron³, Nundang Busaeri⁴
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia^{1,2,3,4}
email: 157002108@student.unsil.ac.id¹

Abstract

DC motor is one type of actuator that is quite widely used in the industrial sector, for example the cake making industry, which uses a DC motor in the cake mixing machine, in the process of mixing cake ingredients it must be adjusted between speed and material load, because if the cake material load is heavier will affect the speed of the mixing machine. Thus, the problem that must be solved is how to control the speed of a DC motor when there is a varied load. The method used in this study is to control the speed of the DC motor using a Proportional Integral Derivative (PID) controller speed control system. Proportional Integral Derivative (PID) is a control that utilizes feedback from the output containing an error signal or difference from the expected value. Determination of PID controller parameters using the Zeigler-Nichols tuning method because it uses simple formulas and a trial and error process only on Kp parameter search. The results of determining the parameters of the PID controller obtained the values of $K_p = 1.8$, $K_i = 0.4$, and $K_d = 2.025$. From the parameter values of K_p , K_i , and K_d , the PID controller system runs at a set speed of 600 rpm and produces a Rise Time = 1.8 seconds, Settling Time = 13 seconds, Overshoot is 3.7% and steady state error is 1 rpm. and when the system is running, the DC motor speed decreases and returns to its setpoint with a time of 19 seconds

Keywords: DC Motor, PID Controller, Zeigler-Nichols

Abstrak

Motor DC merupakan salah satu jenis aktuator yang cukup banyak digunakan dalam bidang industri, misalnya industri pembuatan kue, yang menggunakan motor DC pada mesin pencampuran bahan kue, dalam proses pencampuran bahan kue harus disesuaikan antara kecepatan dengan beban bahan, dikarenakan jika beban bahan kue lebih berat akan mempengaruhi laju kecepatan mesin pencampur. Sehingga, permasalahan yang harus diselesaikan yaitu bagaimana mengendalikan kecepatan motor DC ketika ada beban bervariasi. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan mengendalikan kecepatan motor DC menggunakan sistem kendali kecepatan Proportional Integral Derivatif (PID) controller. Proportional Integral Derivatif (PID) merupakan kontrol yang memanfaatkan *feedback* dari keluaran yang mengandung sinyal kesalahan atau selisih dari nilai yang diharapkan. Penentuan parameter kontroler PID menggunakan metode *tuning* Zeigler-Nichols karena menggunakan rumus-rumus sederhana dan proses *trial and error* hanya pada pencarian parameter K_p . Hasil penentuan parameter kontroler PID diperoleh nilai $K_p = 1,8$, $K_i = 0,4$, dan $K_d = 2,025$. Dari nilai parameter K_p , K_i , dan K_d tersebut sistem kontroler PID berjalan dengan kecepatan diset 600 rpm dan menghasilkan nilai Rise Time = 1,8 detik, Settling Time = 13 detik, Overshoot sebesar 3,7% dan error steady state sebesar 1 rpm, dan pada saat sistem berjalan diberi beban kecepatan motor DC menurun dan kembali pada setpointnya dengan waktu 19 detik.

Kata Kunci: Motor DC, Kontroler PID, Zeigler-Nichols.

I. PENDAHULUAN

Motor listrik mempunyai dua tipe motor yaitu motor AC dan motor DC. Motor DC merupakan salah satu jenis aktuator yang cukup banyak digunakan dalam bidang industri, misalnya industri pembuatan kue, yang menggunakan motor DC pada mesin pencampuran bahan kue, dalam proses pencampuran bahan kue harus disesuaikan antara kecepatan dengan beban bahan, dikarenakan jika beban bahan kue lebih berat akan mempengaruhi laju kecepatan mesin pencampur[1]. Mengatasi hal tersebut, maka diperlukan suatu perancangan sistem kendali kecepatan motor DC untuk mengatur kecepatan, agar motor DC tersebut bergerak dengan kecepatan yang konstan, maka dari itu sistem kendali kecepatan motor DC dengan mikrokontroler menjadi solusi yang baik[2], perangkat yang digunakan adalah Arduino uno karena kemudahan dalam mengaplikasikannya.

Arduino uno adalah mikrokontroler yang sering digunakan untuk kontrol sederhana sampai kontrol yang kompleks[3], mikrokontroler dapat berfungsi jika diisi program, pengisian program ini dapat dilakukan menggunakan compiler yang selanjutnya diprogram oleh aplikasi yang sudah di sediakan oleh arduino tersebut. Compiler program yang digunakan pada arduino adalah Arduino IDE yang menggunakan bahasa pemrograman C. Perancangan sistem kendali PID untuk kecepatan motor DC

meliputi Arduino Uno sebagai unit kendali untuk mengatur set K_p , K_i , dan K_d yang terdapat dari input, rangkaian sensor optocoupler sebagai perangkat input yang menghasilkan set dan kesalahan dari output, rangkaian driver motor DC, dan motor DC sebagai rangkain output, serta catu daya.[4]

Sistem kontrol otomatis ada beberapa jenis, antara lain adalah kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID). PID Controller merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Selain itu sistem ini mudah digabungkan dengan metode pengaturan yang lain seperti Fuzzy dan Robust[5], sehingga akan menjadi suatu sistem pengatur yang semakin baik, karena kontroler ini sederhana dan relatif mudah dalam pengaplikasiannya. pada umumnya pid diimplementasikan menggunakan rangkaian analog, bahkan ada yang menggunakan komponen mekanis dalam penentuan setpoint dan setting parameter

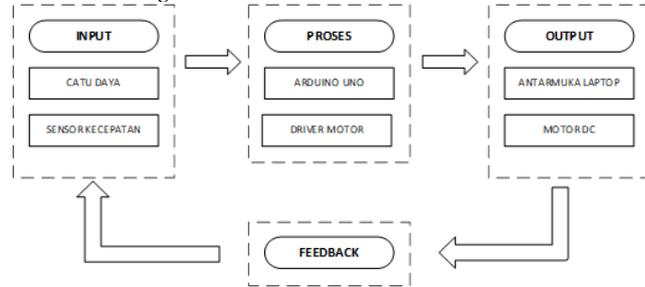
Kontrol PID adalah kontrol yang memanfaatkan *feedback* dari keluaran yang mengandung sinyal kesalahan atau selisih dari nilai yang diharapkan, sehingga kontrol ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan presisi dari sistem yang dikendalikan[6].

Berdasarkan hal-hal di atas, penelitian akhir ini berjudul "Prototype Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Proportional Integral Derivative (PID) Controller" menggunakan mikrokontroler Arduino uno sebagai port

serial dalam komunikasi datanya. Selain itu, dilakukan penerapan metode tuning Ziegler-Nichols pada kontroler PID yang bertujuan untuk menentukan set point parameter-parameter P, I, dan D[7]. Keluaran dari alat ini meliputi kecepatan motor DC yang penyajian datanya dalam bentuk grafik.

II. METODE

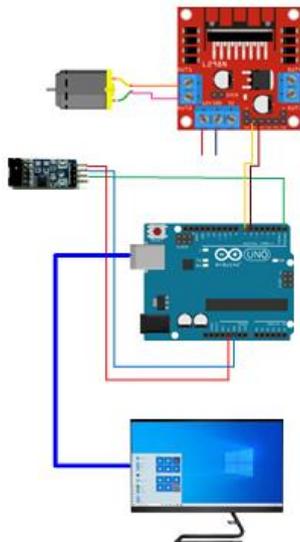
A. Blok Diagram Sistem



Gbr. 1 Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem yang dibuat dapat dilihat pada Gbr 1. untuk mempermudah memahami dari sistem. Secara keseluruhan terdapat input, process, output, dan feedback. Sistem kendali ini terdiri dari dua buah input utama yaitu catu daya, sensor kecepatan. Hasil pembacaan sensor akan di proses pada arduino, sehingga sistem kendali ini menghasilkan satu input data yaitu kecepatan. Pada blok proses ini, input yang diterima arduino diproses menjadi nilai kecepatan, dan driver motor sebagai pengedali motor dc. Kecepatan yang dihasilkan oleh motor DC akan dikirim ke input yang disebut *feedback* dan bila terjadi ketidakstabilan kecepatan akan di perbaiki di proses dengan tuning yang telah di tentukan lalu akan dikirim ke output dan menghasilkan kecepatan yang stabil. Data yang telah masuk ke arduino akan di tampilkan di PC/Laptop berupa Grafik kecepatan motor DC.

B. Perancangan Perangkat Keras

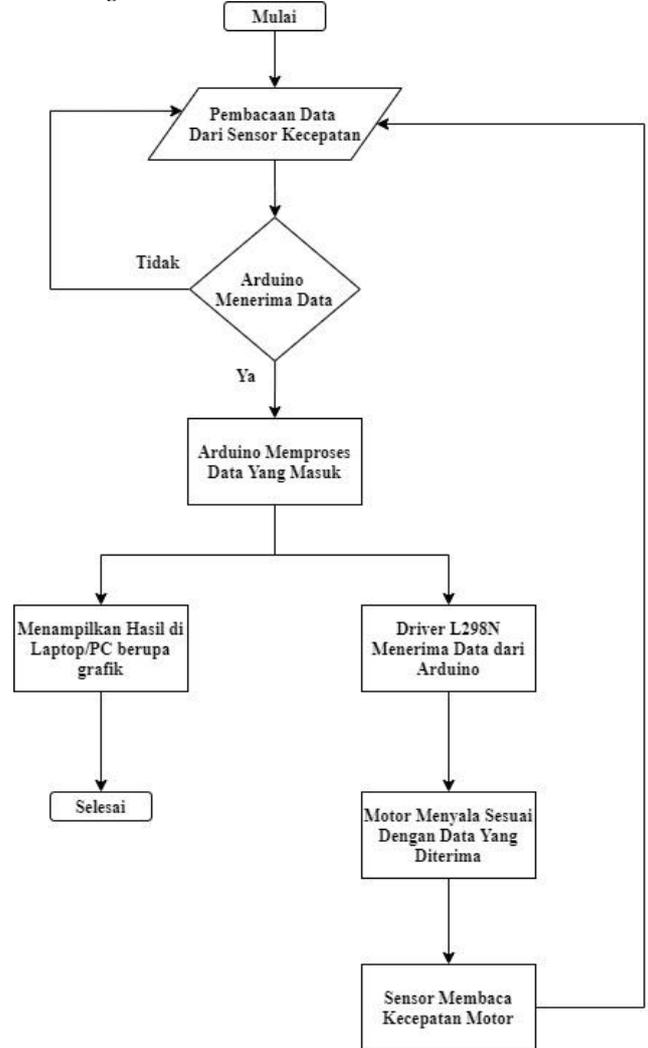


Gbr. 2 Skematik Perancangan Perangkat Keras

Pada Gbr. 2 merupakan gambar prorotype sistem kendali motor DC menggunakan PID kontroler terdapat beberapa komponen yang digunakan yaitu sensor Rotary Encoder untuk mendeteksi kecepatan, arduino yang

berfungsi sebagai pengolah data, driver motor DC L298N untuk mengendalikan kecepatan motor, dan motor DC sebagai alat yang dikendalikan.

C. Diagram Alur Sistem



Gbr. 3 Diagram Alur Sistem

Pada Gbr.3 menjelaskan bagaimana diagram alir dari sistem yang sudah dibuat. Ketika alat dinyalakan, maka arduino akan menyalakan motor dc dan menerima data dari sensor *rotary encoder*, kemudian arduino memproses data dengan program yang telah dimasukkan, kemudian arduino memerintahkan driver L298N untuk mengendalikan kecepatan motor dc dengan data yang telah di proses pada arduino, terus sensor kecepatan membaca kecepatan motor dc dan dikirim hasil bacanya ke arduino untuk di tampilkan pada monitor laptop/PC berupa grafik.

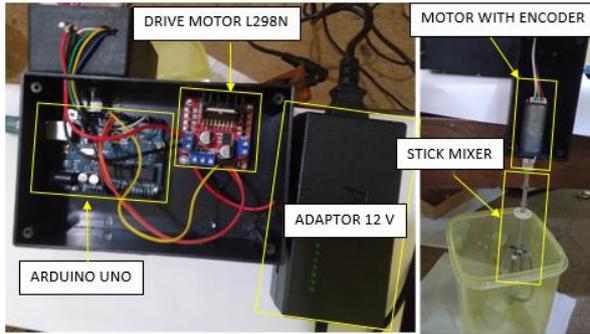
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Assembling Sistem

Assembling merupakan penggabungan dari beberapa komponen untuk menjadi suatu unit. Pada penelitian ini assembling dilakukan untuk menggabungkan semua komponen yang akan digunakan, sehingga dapat menjadi kesatuan sistem yang bekerja dengan baik sesuai dengan apa yang diharapkan.

Gbr 4 adalah hasil akhir rangkaian sistem yang telah dibuat. Rangkaian dibuat dengan menggabungkan beberapa

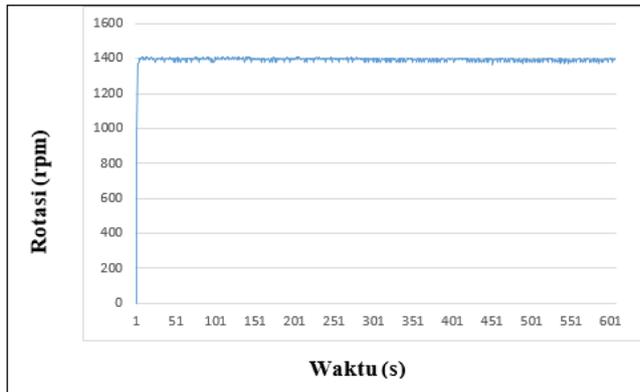
komponen yang telah direncanakan dan dimasukkan pad box agar praktis dalam menggunakannya.



Gbr. 4 Rangkaian Sistem

B. Pengujian Sistem Tanpa Kendali

Dalam pengujian ini bertujuan agar dapat melihat karakteristik kecepatan motor dc yang digunakan dan dalam melakukan pengujian kecepatan motor menggunakan 2 metode pengujian yaitu tanpa beban, dan diberi beban ketika sistem berjalan. Hasil dari pengujian tanpa kendali dapat dilihat pada Gbr. 5.



Gbr. 5 Grafik Respon Dan Kecepatan Motor DC Tanpa Kendali Tanpa beban

Analisis respon tanpa kendali:

1) *Rise Time (Tr):*

$$Tr = \frac{60 \times 5}{602} = 0,5 \text{ detik}$$

Rise Time pada pengujian sistem tanpa kendali terjadi pada waktu 0,5 detik pada titik ke 5 dikecepatan 1400 rpm.

2) *Settling Time (Ts):*

$$Ts = \frac{60 \times 17}{602} = 1,7 \text{ detik}$$

Settling Time pada pengujian sistem tanpa kendali terjadi pada waktu 1,7 detik pada titik ke 17.

3) *Maximum Overshoots (Mp):*

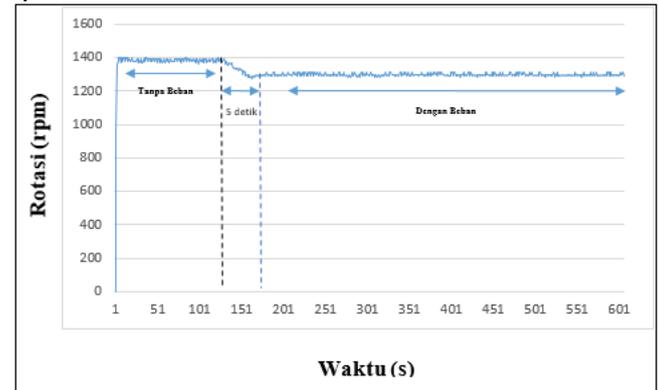
$$Mp = \frac{1410 - 1400}{1400} \times 100\% = 0,7\%$$

Maximum Overshoot pada pengujian sistem tanpa kendali adalah 0,7% dengan kecepatan maximum overshoot 1410 rpm.

4) *Error Steady State (Ess):*

$$Ess = 1400 - 1380 = 20 \text{ rpm}$$

Pada pengujian sistem tanpa kendali error steady state nya adalah 20 rpm dengan kecepatan 1380 rpm sampai 1400 rpm.



Gbr. 6 Grafik Respon Dan Kecepatan Motor DC Tanpa Kendali Dengan Diberi beban Ketika Sistem Berjalan

Pengujian dengan diberi beban berupa minyak goreng ketika sistem berjalan, untuk melihat kecepatan motor DC ketika diberi baban, dan hasilnya kecepatan motor dc dengan tanpa kendali menurun ke kecepatan rata-rata 1300 rpm dari 1400 rpm dengan waktu pengujian menurun sebesar 5 detik, dapat dilihat grafik kecepatan pada Gbr. 6..

C. Pengujian Motor DC Dengan Kendali P

Pada pengujian dengan menggunakan kendali Proportional (P) untuk melihat respon dan kecepatan pada motor DC yang dihasilkan dari kendali Proportionsl (P). Untuk menentukan nilai P yaitu dengan menggunakan rumus parameter di Tbl.1.

Tbl.1. Rumus Parameter P

Parameter	Kp	Ti	Td
P	0.5K _{cr}	∞	0

Dengan rumus parameter pada tabel 4.6. dapat di hitung dengan:

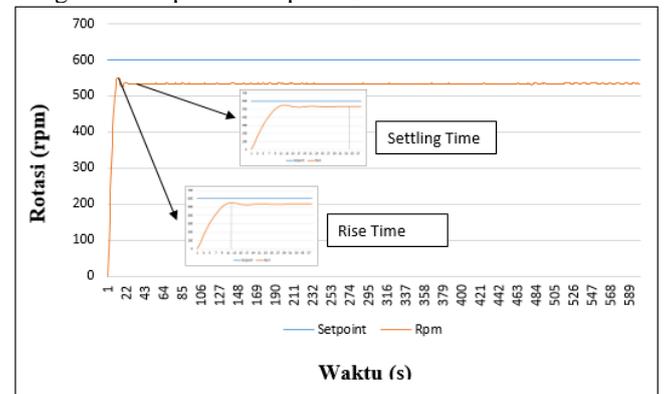
$$RPM = 600$$

$$Kcr = 3$$

$$Pcr = (48-39) \times \text{Time Sampling} = 9 \times 1s = 9s$$

$$Kp = 0.5 \times Kcr = 0.6 \times 3 = 1,5$$

Dari hasil perhitungan dihasilkan nilai Kp = 1,5. Dan diuji dengan melakukan pengujian sama seperti pengujian tanpa kendali yaitu tanpa beban dan diberi beban ketika sistem berjalan tetapi kecepatannya diset menjadi 600 rpm agar kecepatan motor DC bisa stabil dikecepatan yang diinginkan. Dapat dilihat pada Gbr.7.



Gbr.7 Grafik Respon Dan Kecepatan Kendali P Tanpa Beban

Analisis respon kendali P:

1) *Rise Time (Tr):*

$$Tr = \frac{60 \times 12}{602} = 1,2 \text{ detik}$$

Rise Time pada pengujian sistem dengan kendali Proportional P terjadi pada waktu 1,2 detik pada titik ke 12 dikecepatan 551 rpm dan dapat dilihat titik rise timenya pada Gbr.7.

2) *Settling Time (Ts):*

$$Ts = \frac{60 \times 34}{602} = 3,4 \text{ deitk}$$

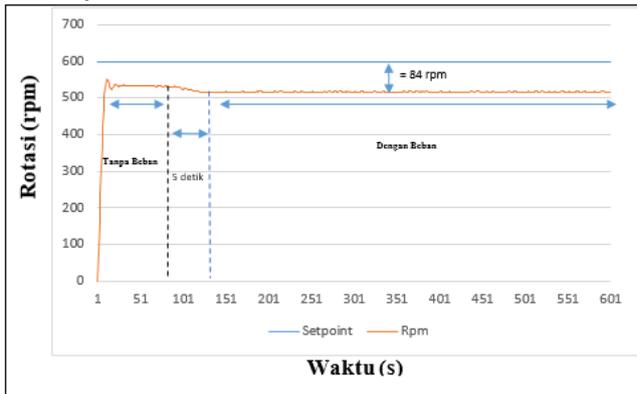
Settling Time pada pengujian sistem tanpa kendali terjadi pada waktu 3,4 detik pada titik ke 34, dan untuk titik settling time dapat dilihat pada Gbr. 7.

3) *Maximum Overshoots (MP):*

Maximum overshoots pada pengujian sistem dengan kendali P tidak bisa dihitung karena maximum overshoot dapat diketahui apabila kecepatan melebihi setpoint.

4) *Error Steady State (Ess):*

Error Steady State pada pengujian sistem dengan kendali P tidak bisa dihitung karena tidak mencapai setpoint.



Gbr.8 Grafik Respon Dan Kecepatan Kendali P Dengan Diberi Beban Ketika Sistem Berjalan

Dari hasil analisis respon pada gambar terjadi rise time pada kecepatan motor dc di waktu 1,2 detik dan settling time yaitu 3,4 detik namun kecepatan motor dc dengan kendali P tidak mencapai pada setpoint hanya berjalan di kecepatan rata- rata 530 rpm, dan diberi beban ketika sistem berjalan kecepatan motor DC menurun sampai 516 rpm dan dalam waktu 5 detik dari kecepatan menurun sampai ke steady state dan nilai PWM nya naik menjadi 124. Namun tetap sama kecepatan motor DC tidak mencapai setpoint yang di tentukan.

D. Pengujian Motor Dengan Kendali PI

Pada pengujian dengan menggunakan kendali Proportional dengan menambahkan kendali Integral (PI) untuk melihat respon pada kecepatan motor DC yang dihasilkan dari kendali Proportionsl dan Integral (PI). Dengan menggunakan rumus parameter di Tbl.2.

Tbl.2. Rumus Parameter PI

Parameter	Kp	Ti	Td
PI	0.45K _{cr}	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0

RPM = 600

K_{cr} = 3

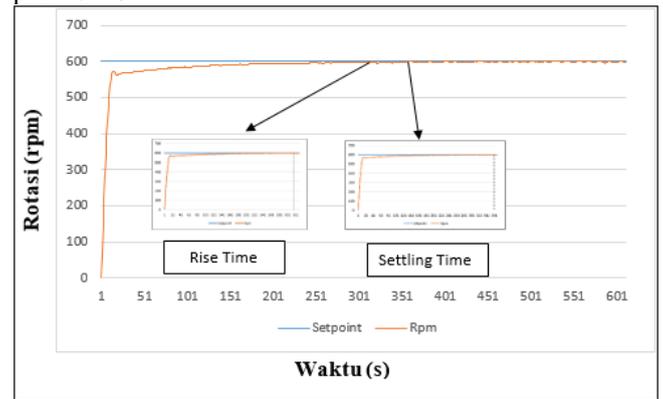
$$P_{cr} = (48 - 39) \times \text{Time Sampling} = 9 \times 1s = 9s$$

$$K_p = 0.6 \times K_{cr} = 0.45 \times 3 = 1,35$$

$$T_i = \frac{1}{1,2} \times P_{cr} = \frac{1}{1,2} \times 9 = 7,5$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{1,35}{7,5} = 0,18$$

Dari hasil perhitungan dihasilkan nilai K_p = 1.35 dan nilai K_i = 0,18. Dan diuji dengan melakukan pengujian sama seperti pengujian tanpa kendali yaitu tanpa beban dan diberi beban ketika sistem berjalan tetapi kecepatannya di set menjadi 600 rpm agar kecepatan motor DC bisa stabil pada kecepatan yang diinginkan. Dapat dilihat hasil pengujian pada Gbr.9.



Gbr. 9. Grafik Respon Dan Kecepatan Menggunakan Kendali PI Tanpa Beban

Analisis respon kendali PI:

1) *Rise Time (Tr):*

$$Tr = \frac{60 \times 313}{602} = 31,2 \text{ detik}$$

Rise Time pada pengujian sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral (PI) terjadi pada 31,2 detik pada titik ke 313 dikecepatan 600 rpm dan dapat dilihat titik rise timenya pada Gbr.9.

2) *Settling Time (Ts):*

$$Ts = \frac{60 \times 359}{602} = 35,8 \text{ detik}$$

Settling Time pada pengujian sistem sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral (PI) terjadi pada waktu 35,8 detik pada titik ke 359, dan untuk titik settling time dapat dilihat pada Gbr.9.

3) *Maximum Overshoot (Mp):*

$$Mp = \frac{601 - 600}{600} \times 100\% = 0,2\%$$

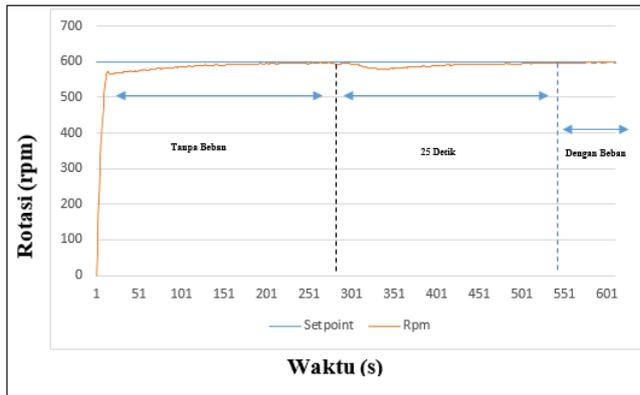
Maximum Overshoot pada pengujian sistem sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral (PI) adalah 0,2% dengan kecepatan maximum overshoot 601 rpm.

4) *Error Steady State (Ess):*

$$Ess = 601 - 600 = 1 \text{ rpm}$$

Pada pengujian sistem sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral (PI) error steady state

nya adalah 1 rpm dengan kecepatan 600 rpm sampai 601 rpm.



Gbr. 10. Grafik Respon Dan Kecepatan Menggunakan Kendali PI Dengan Diberi Beban Ketika Sistem Berjalan

Dari hasil respon pada gambar 4.19. terjadi rise time pada kecepatan motor dc di waktu 28 detik dan settling time di waktu 41 detik dan maximum overshoot 0,2% dan error steady state 1 rpm. ketika di beri beban pada saat berjalan kecepatan motor menurun sampai 579 rpm dan waktu dari kecepatan dari menurun menuju setpoint adalah 25 detik.

E. Pengujian Motor Dengan Kendali PID

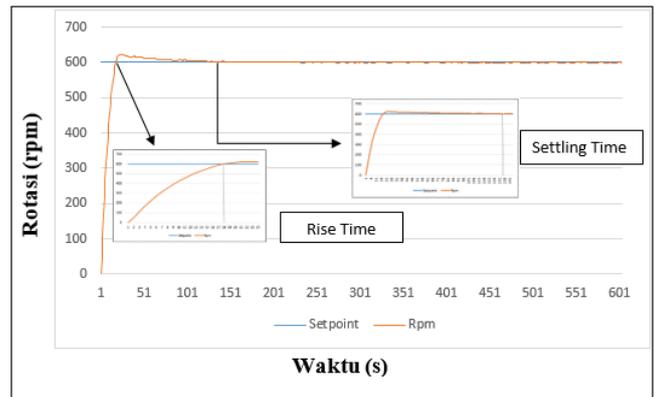
Pada pengujian dengan menggunakan kendali Proportional, Integral dan Derivatif (PID) untuk melihat respon pada kecepatan motor DC yang dihasilkan dari kendali Proportionsl, Integral, dan Derivatif (PID). Dengan menggunakan rumus parameter di Tbl 3.

Tbl 3. Rumus Parameter PID

Parameter	Kp	Ti	Td
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

- RPM = 600
- Kcr = 3
- Pcr = (48-39) x Time Sampling = 9 x 1s= 9s
- Kp = 0.6 x Kcr =0.6 x 3=1,8
- Ti = 0.5 x Pcr=0.5 x 9=4,5
- Td = 0.125 x Pcr=0.125 x 9=1,125
- Ki = Kp/Ti = 1,8/4,5=0,4
- Kd = Kp x Td =1,8 x 1,125=2,025

Dari hasil perhitungan dihasilkan nilai Kp = 1.8 dan nilai Ki = 0,4 dan nilai Kd = 2,025, dengan setpoint kecepatan 600 rpm. Pengujian dilakukan dengan 2 pengujian yaitu tanpa beban dan diberi beban ketika sistem berjalan tetapi kecepatannya diset menjadi 600 rpm agar kecepatan motor DC bisa stabil pada kecepatan yang diinginkan. Dapat dilihat hasil pengujian pada Gbr. 11



Gbr. 11. Grafik Respon Kendali PID Tanpa Beban

Analisis respon kendali PID tanpa beban:

1) Rise Time (Tr):

$$Tr = \frac{60 \times 18}{602} = 1,8 \text{ detik}$$

Rise Time pada pengujian sistem sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral dan kendali Derivatif (PID) terjadi pada 1,8 detik pada titik ke 18 dikecepatan 601 rpm dan dapat dilihat titik rise time nya pada Gbr.11.

2) Settling Time (Ts):

$$Ts = \frac{60 \times 134}{602} = 13,4 \text{ detik}$$

Settling Time pada pengujian sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral dan kendali Derivatif (PID) terjadi pada waktu 13,4 detik pada titik ke 134, dan untuk titik settling time dapat dilihat pada Gbr.11.

3) Maximum Overshoots (Mp):

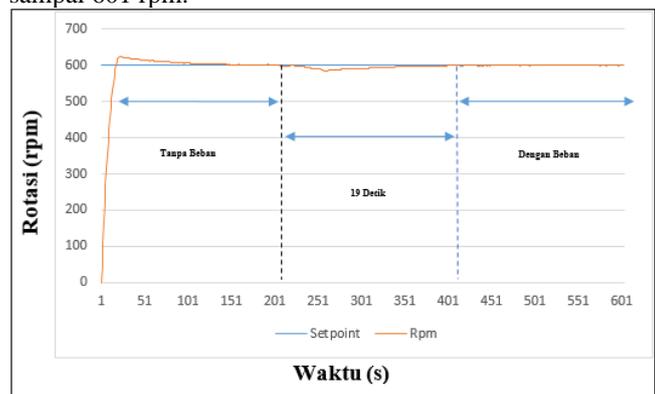
$$Mp = \frac{622 - 600}{600} \times 100\% = 3,7\%$$

Maximum Overshoot pada pengujian sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral dan kendali Derivatif (PID) adalah 3,7% dengan kecepatan maximum overshoot 622 rpm.

4) Error Steady State (Ess):

$$Ess=601-600=1 \text{ rpm}$$

Pada pengujian sistem dengan kendali Proportional ditambah kendali Integral dan kendali Derivatif (PID) error steady statanya adalah 1 rpm dengan kecepatan 600 rpm sampai 601 rpm.



Gbr. 12. Grafik Respon Kendali PID Dengan Beban Ketika Sistem Berjalan

Pada pengujian ini menggunakan beban berupa minyak goreng ketika sistem berjalan terjadi penurunan kecepatan sampai 587 rpm dan sistem kendali PID meningkatkan PWM untuk mengembalikan kecepatan ke setpoint yang telah ditentukan. Waktu kecepatan menurun sampai setpoint dengan menggunakan kendali PID adalah 19 detik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai prototype sistem kendali kecepatan motor dc dengan proportional integral derivative (PID) controller, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kontrol kecepatan dengan kendali PID menggunakan metode tuning Ziegler Nichols 2 menghasilkan respon rise time 1,8 detik dan setling time 7,2 detik, tetapi masih ada overshoots sebesar 4% dan juga error steady state 1 rpm.
2. Kendali PID ketika diuji pada saat sistem sedang berjalan dan diberi beban kecepatannya menurun dan kembali lagi dengan waktu 19 detik.
3. Kecepatan motor dc menjadi lebih stabil menggunakan kendali PID.

REFERENSI

- [1] U. N. Cendana, "MOTOR-MOTOR LISTRIK," no. March, 2018.
- [2] M. R. Djalal and Rahmat, "Optimisasi Kontrol PID untuk Motor DC Magnet Permanen Menggunakan Particle Swarm Optimization," *J. TAM (Technologi Acceptance Model.*, vol. 8, pp. 117–122, 2017.
- [3] D. A. Silalahi *et al.*, "Pengendalian Kecepatan Putar (Rpm) Motor Dc Dengan Metode Pid Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Menggunakan Bahasa Pemrograman Code Vision Avr Pengendalian Kecepatan Putar (Rpm) Motor Dc Atmega328 Menggunakan Bahasa Pemrograman," 2017.
- [4] Atmel, "ATmega328P," *Atmel Corp.*, pp. 1–294, 2015.
- [5] M. K. Proportional-integral-derivative, P. I. D. Dengan, and M. Sensor, "Pembuatan Sistem Pengaturan Putaran Motor Dc," vol. 35, no. 0215, pp. 130–139, 2015.
- [6] E. Sulis, "KENDALI KECEPATAN MOTOR DC DENGAN METODE PID BERBASIS ARDUINO UNO," *KENDALI KECEPATAN Mot. DC DENGAN Metod. PID Berbas. ARDUINO UNO*, vol. 10, no. 2, pp. 1–15, 2018.
- [7] M. Matlab and D. A. N. Arduino, "ZIEGLER-NICHOLS DAN COHEN-COON Oleh Fauzan Fauziansyah," 2015.

BIOGRAFI PENULIS



Fahri Firdaus, Lahir pada tanggal 09 April 1997 di Garut, Jawa Barat. Penulis saat ini berstatus mahasiswa (S1) di jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Jawa Barat. Pada penelitian ini penulis mengangkat tema penelitian pada Sistem Kendali, lebih khusus terkonsentrasi pada Arduino dan Proportional Integral Derivatif (PID).

APPENDIX

A. Hasil Kecepatan Motor DC Tanpa Kendali Keseluruhan

Duty cycle (%)	PWM	Rpm	Duty cycle (%)	PWM	Rpm	Duty cycle (%)	PWM	Rpm
0%	0	0	100%	255	1390	100%	255	1400
100%	255	960	100%	255	1400	100%	255	1410
100%	255	1370	100%	255	1400	100%	255	1390
100%	255	1380	100%	255	1380	100%	255	1400
100%	255	1400	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1400	100%	255	1400	100%	255	1380
100%	255	1390	100%	255	1390	100%	255	1400
100%	255	1410	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1410	100%	255	1400	100%	255	1380
100%	255	1390	100%	255	1390	100%	255	1400
100%	255	1390	100%	255	1400	100%	255	1410
100%	255	1400	100%	255	1390	100%	255	1380
100%	255	1390	100%	255	1410	100%	255	1400
100%	255	1410	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1410	100%	255	1380	100%	255	1380
100%	255	1390	100%	255	1390	100%	255	1400
100%	255	1400	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1400	100%	255	1390	100%	255	1390
100%	255	1390	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1410	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1400	100%	255	1390	100%	255	1390
100%	255	1390	100%	255	1400	100%	255	1400
100%	255	1410	100%	255	1400	100%	255	1400

B. Hasil Kecepatan Motor DC dengan Kendali P Keseluruhan

PWM	Setpoint	Rpm	PWM	Setpoint	Rpm	PWM	Setpoint	Rpm
0	600	0	93	600	537	99	600	533
255	600	70	93	600	535	100	600	533
255	600	160	96	600	534	99	600	534
255	600	238	97	600	533	98	600	534
255	600	306	99	600	533	98	600	534
255	600	366	100	600	533	97	600	534
255	600	417	100	600	533	97	600	534
255	600	463	100	600	533	98	600	534
204	600	502	99	600	534	98	600	534
146	600	529	98	600	534	98	600	534
105	600	546	98	600	534	98	600	534
80	600	551	98	600	534	98	600	534
73	600	549	98	600	534	97	600	535
75	600	542	98	600	534	97	600	534
85	600	533	98	600	534	97	600	534
99	600	527	97	600	534	98	600	534
108	600	525	98	600	534	98	600	534
111	600	527	97	600	534	98	600	534
108	600	531	97	600	534	98	600	534
102	600	535	97	600	534	98	600	533
97	600	537	97	600	533			

C. Hasil Kecepatan Motor DC dengan Kendali PI Keseluruhan

PWM	Setpoint	Rpm	PWM	Setpoint	Rpm	PWM	Setpoint	Rpm
0	600	0	115	600	570	119	600	579
255	600	63	115	600	570	119	600	579
255	600	145	116	600	570	119	600	580
255	600	218	116	600	571	118	600	580
255	600	284	116	600	571	118	600	581
255	600	341	116	600	572	118	600	581
255	600	391	115	600	573	117	600	581
255	600	436	115	600	573	117	600	581
255	600	475	115	600	573	118	600	581
226	600	509	115	600	573	118	600	581
182	600	535	116	600	573	118	600	582
149	600	554	117	600	573	119	600	582
124	600	566	117	600	573	119	600	581
109	600	572	117	600	574	120	600	582
101	600	573	117	600	574	119	600	582
100	600	571	117	600	574	119	600	582
103	600	568	117	600	575	119	600	583
108	600	565	117	600	575	118	600	584
113	600	563	117	600	576	118	600	583
116	600	563	117	600	576	119	600	583
117	600	564	117	600	577	120	600	583
116	600	565	116	600	576	120	600	584
116	600	566	117	600	576	119	600	584
114	600	567	117	600	577	119	600	584
113	600	569	117	600	578	119	600	584
112	600	569	116	600	578	120	600	584
113	600	569	116	600	578	120	600	583
113	600	569	116	600	578	121	600	584
113	600	569	117	600	578	120	600	585
114	600	570	118	600	578	119	600	586
113	600	570	118	600	578	119	600	585
114	600	570	118	600	579			
114	600	570	118	600	579			
115	600	570	118	600	579			

D. Hasil Kecepatan Motor DC dengan Kendali PID Keseluruhan

PWM	Setpoint	Rpm	PWM	Setpoint	Rpm	PWM	Setpoint	Rpm
0	600	0	137	600	616	131	600	610
255	600	47	139	600	616	131	600	609
255	600	109	138	600	616	131	600	609
255	600	167	136	600	617	131	600	609
255	600	221	134	600	617	130	600	609
255	600	269	133	600	618	129	600	610
255	600	313	132	600	618	129	600	609
255	600	353	131	600	617	129	600	608
255	600	390	131	600	617	130	600	608
255	600	423	131	600	616	130	600	608
255	600	454	132	600	616	130	600	608
255	600	482	132	600	615	130	600	608
255	600	507	132	600	615	129	600	608
255	600	530	132	600	614	129	600	608
255	600	551	132	600	614	128	600	608
255	600	570	132	600	614	129	600	608
230	600	588	132	600	613	129	600	608
200	600	601	132	600	613	129	600	606
178	600	610	132	600	613	131	600	605
161	600	616	131	600	613	133	600	605
149	600	620	131	600	612	132	600	605
141	600	622	132	600	612	131	600	606
136	600	622	132	600	612	130	600	606
135	600	622	132	600	611	130	600	606
135	600	622	132	600	612	129	600	607
135	600	621	131	600	612	128	600	607
135	600	621	130	600	612	127	600	607
135	600	621	129	600	612	127	600	607
134	600	620	129	600	612	127	600	606
134	600	620	129	600	611	128	600	606
134	600	619	129	600	611	128	600	607
135	600	618	130	600	610	126	600	607
136	600	617	131	600	610	126	600	607