

Kendali Kestabilan Putaran Motor DC Robot Pemindah Barang dengan Metode Ziegler-Nichols pada Industri

Dewi Permata Sari*)¹, Iskandar Lutfi², Firnan Saputra³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

*)Corresponding author, email: dewi_permatasari@polsri.ac.id

Abstrak

Robot salah satu keperluan yang dapat dikatakan sangat membantu dalam pekerjaan industri. Dalam suatu robot sistem kendali berperan penting menjaga kestabilan dari kerja yang dihasilkan oleh robot itu sendiri. Robot pemindah barang dengan sistem yang dibuat untuk memindahkan barang ke tempat yang tinggi tentu harus memiliki tanggapan yang stabil. Sehingga Tujuan dari penelitian diterapkannya kendali PID (*propotional, integral, derevative*) untuk mengontrol kecepatan motor dc sebagai pemutar katrol untuk mengangkat barang dengan sistem seperti *lift* terhadap pemindahan barang. Supaya pergerakan motor bisa mengatur kecepatan stabil dengan kondisi tertentu. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu Ziegler-Nichols model sistem *close loop* dengan penentuan parameter PID berdasarkan osilasi, hasil parameter yang diperoleh dimasukkan kedalam sistem dan melihat *respon* dalam mengontrol kecepatan motor jika respon tidak sesuai, maka dilakukan *tunning manual trial end error* untuk mendapat respon yang diinginkan sehingga didapatkan motor yang dapat bergerak stabil dan dapat mengurangi dan memperbaiki kesalahan saat mengangkat barang. Hasil yang didapat tanggapan bisa stabil dan telah mencapai baik dengan *error* pembacaan rpm dari sensor *rotary encoder* motor dc dibawah 5%. Pengendali PID dapat diimplementasikan pada robot pemindah barang ini, motor dapat memperbaiki *error* yang diakibatkan beban dan tanggapan atau respon motor seimbang dalam mengangkat beban berat sekaligus.

Abstract

Robots are one of the needs that can be said to be very helpful in industrial work. In a robot, the control system plays an important role in maintaining the stability of the work produced by the robot itself. A goods moving robot with a system made to move goods to a high place must have a stable response. So that the purpose of the research is to apply PID (propotional, integral, derevative) control to control the speed of the dc motor as a pulley player to lift goods with a system like an elevator to move goods. So that the movement of the motor can set a stable speed with certain conditions. The method used in this research is the Ziegler-Nichols close loop system model with the determination of PID parameters based on oscillations, the results of the parameters obtained are entered into the system and see the response in controlling the motor speed if the response is not appropriate, then manual tuning trial end error is done to get the desired response so that a motor is obtained that can move stably and can reduce and correct errors when lifting goods. The results obtained by the response can be stable and have reached good with the rpm reading error from the dc motor rotary encoder sensor below 5%. PID controllers can be implemented on this goods moving robot, the motor can correct errors caused by the load and the motor response or response is balanced in lifting heavy loads at once.

PENDAHULUAN

Pada suatu industri penggunaan alat seperti robot dalam membantu suatu pekerjaan sangatlah dibutuhkan untuk mempermudah atau mempercepat dari pekerjaan yang cukup berat. Seperti memindahkan atau mengangkat barang dari suatu tempat ke tempat yang lain, Tingginya tempat untuk

INFO.

Info. Artikel:

No. 448

Received. July, 20, 2023

Revised. August, 8, 2023

Accepted. August, 14, 2023

Page. 655 – 664

Kata kunci:

- ✓ Kendali PID
- ✓ Robot
- ✓ Motor DC
- ✓ Sensor Rotary Encoder

meletakkan penyimpanan barang sehingga umumnya menggunakan katrol yang diputar secara manual oleh manusia, tentu hal tersebut lebih efektif menggunakan robot dibanding menggunakan tenaga manusia. Selain menghemat tenaga, robot dapat memperkecil risiko kecelakaan dalam mengangkat benda [1].

Banyaknya inovasi dari berbagai teknologi saat ini, salah satunya adalah *elavolator* atau lift, terdapat dua tipe yaitu *elevator* tali dan *elavator* hidrolik, keduanya memiliki sistem untuk menaikkan dan menurunkan muatan [2]. Sehingga dapat digunakan untuk mengangkat barang ke tempat yang tinggi, dari hal tersebut dibuatlah sistem tersebut digabungkan dengan robot yang dapat berjalan dan memindahkan barang ke tempat tinggi. Namun dalam suatu sistem dari robot pemindah barang, diperlukan suatu kendali agar terkendali pergerakannya terutama untuk sistem *lift* pada robot sebagai pengangkat barang ke tempat yang tinggi agar stabil terhadap pengangkatan barang pada robot, tentu membutuhkan suatu pengontrol atau kendali untuk motor dalam mengangkat barang [3].

Robot merupakan suatu alat mekanik yang paling banyak digunakan dalam industri. Sebuah alat mekanik yang biasa digunakan melakukan tugas fisik baik dengan pengawasan atau melalui kontrol manusia dengan melalui program yang terdefiniskan dahulu [4]. Pada Robot pemindah barang terdapat wadah ini, mempunyai cara kerja membawa dan mengangkat barang ke lokasi yang tinggi dengan sistem *lift* yang dapat naik dan turun kemudian menuangkan barang yang terdapat dalam wadah, dengan sistem kontrol *semi-otomatis* dalam pergerakan robot.

Untuk itu digunakan sistem kendali PID (*propotional, integral, derivative*) pada robot pemindah barang ini. Yang bertujuan digunakan sebagai pengontrol kecepatan suatu motor dalam mengangkat barang dengan beban yang berbeda untuk memperoleh kestabilan respon sistem terhadap barang yang diangkat. pemanfaatan pengendali PID yang diterapkan pada robot pemindah barang supaya mendapatkan pergerakan motor yang diinginkan stabil dengan kesalahan *error* yang kecil dari robot pada saat mengangkat barang atau benda ke tempat yang tinggi.

Maka dari latar belakang tersebut peneliti melakukan penelitian dengan judul "Kendali Kestabilan Putaran Motor DC Robot Pemindah Barang dengan Metode Ziegler-Nichols Pada Industri"

PID

Kendali PID (*propotional, integral, derivative*) yang suatu sistem kontrol umpan balik salah satu penentu presisi dari instrumentasi yang dikendali. Sistem yang terdiri dari 3 elemen *propotional, integral, derivative*. Pengaruh dari 3 penentuan parameter K_p , K_i , dan K_d akan mempengaruhi suatu kerja sistem [5][6].

Keluaran dari sinyal PID dapat dirumuskan :

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

keterangan :

$u(t)$: Hasil jumlah nilai PID

K_p : konstan *propotional*

K_i : konstanta *integral*

K_d : konstanta *derivative*

t : waktu

Elemen P Memberikan keluaran kendali yang berbanding lurus terhadap *error*. Keluaran diatur dengan mengalikan *error* dengan konstanta K_p , Nilai konstanta K_p disebut *gain* (penguat)[7]. *Propositional* K_p menghasilkan efek dari waktu naik terhadap respon kendali untuk mencapai kondisi *steady-state*.

Elemen I Menghasilkan keluaran bersifat integratif, mengoreksi keluaran dengan mengintegrasikan *error* pada setiap pembacaan PV sehingga akhirnya deviasi kecil[7]. *Error* terakumulasi dikali dengan konstanta K_i (*gain integral*) sehingga menjadi keluaran I. Bentuk integrasi mempercepat perpindahan proses mencapai *setpoint* serta menghilangkan *steady-state error* yang muncul pada *kontroller propotional*[8]. Pengaturan nilai K_i mempengaruhi efek sensitivitas kestabilan.

Elemen D keluaran *propotional* terhadap laju (*rate*) perubahan *error*. Hanya berubah saat perubahan *error* terjadi, jika tidak ada perubahan *error* maka keluaran kendali nol[7]. Aksi *derivative*

mengantisipasi perilaku sistem dan memperbaiki waktu tinggal serta kestabilan sistem[9]. Kendali D memiliki aksi peredam, sehingga dapat memperbaiki osilasi.

Robot

Robot merupakan suatu perangkat alat mekanik yang dapat menjalankan tugas-tugas fisik, baik dalam kendali atau pun tidak (otomatis). Robot digunakan untuk membantu pekerjaan manusia yang cukup sulit atau tidak bisa dilakukan manusia secara langsung oleh manusia [4][10]. Beberapa klasifikasi dari robot dari macam-macam konstruksinya yaitu :

- a. Robot *Mobile* (bergerak)
- b. Robot *Manipulator* (lengan)
- c. Robot *Humanoid*
- d. *Flying* Robot
- e. Robot Berkaki

Robot yang dipakai pada penelitian menggunakan robot *mobile* suatu robot yang dapat bergerak leluasa karena memiliki perangkat gerak untuk berpindah posisi. Jenis *locomotion system* yang digunakan robot adalah *wheeled car* robot yang bergerak menggunakan roda, memberikan *traction* yang bagus terhadap permukaan yang dilintasi.

Arduino Mega 2560

Rangkaian *mikrokontroller* berbasis Arduino dengan *chip* jenis AVR yaitu ATmega2560. Memiliki pin I/O yang cukup banyak terdapat 54 pin digital (diantaranya 15 pwm) dan 16 pin analog. Keperluan I/O yang banyak bisa sebagai alternatif keperluan suatu rangkaian *output* atau *input* yang banyak[11].

Motor DC

Sebuah aktuator yang mengubah besaran listrik ke gerak mekanis. Polaritas arus yang mengalir menentukan arah putaran motor dari lilitan kawat[12]. Terdapat komponen utama stator (bagian diam) yang menghasilkan medan magnet dan rotor (bagian berputar) kumparan yang dialiri arus listrik.

Driver Motor L298N

Sebuah modul *driver* dengan rangkaian *H-Bridge* sehingga dapat mengendalikan motor berupa kecepatan atau arah putaran[13]. *Driver* ini membantu mikrokontroller dalam mengatasi kebutuhan *input* dari motor untuk tegangan yang besar untuk dikontrol. Mengendalikan kecepatan putaran lewat pwm dari input kontroller, menghasilkan arus sampai 2A.

Driver BTS7960

Suatu Pengontrol dari motor dc dengan hanya bisa mengontrol satu motor saja. *Driver* BTS7960 ini memiliki rangkaian *H-bridge* dengan IC yaitu BTS7960 memiliki arus kerja sampai 43A, serta tegang dari 5.5V hingga 27V arus searah atau DC dan Juga Melindungi rangkaian dari panah dan arus berlebih[14]. Memiliki 8 pin, yaitu RPWM dan LPWM sebagai input dengan menggunakan nilai input pwm atau logika high atau low, R_EN dan L_EN dihubung dengan 5V, serta ada R_IS dan L_IS, kemudian Vcc dan Gnd.

Sensor TCRT-5000

Digunakan sebagai *line follower* Sensor IR dengan fotodiode dan inframerah bekerja dengan memanfaatkan pantulan cahaya inframerah dan diterima fotodiode[15][16]. Dapat digunakan sebagai pembeda warna hitam dan putih yaitu dengan tanda *high* dan *low*, indikator bisa dilihat dari hidup matinya led pada tcrt-5000 led mati tanda mendeteksi permukaan hitam dan led hidup tanda mendeteksi permukaan putih.

Sensor Rotary Encoder

Device elektromechanic yang digunakan memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* pada umumnya terdapat sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang bisa diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. *Rotary encoder* ini dapat digunakan pada suatu pengendali robot, motor driver, dll[17].

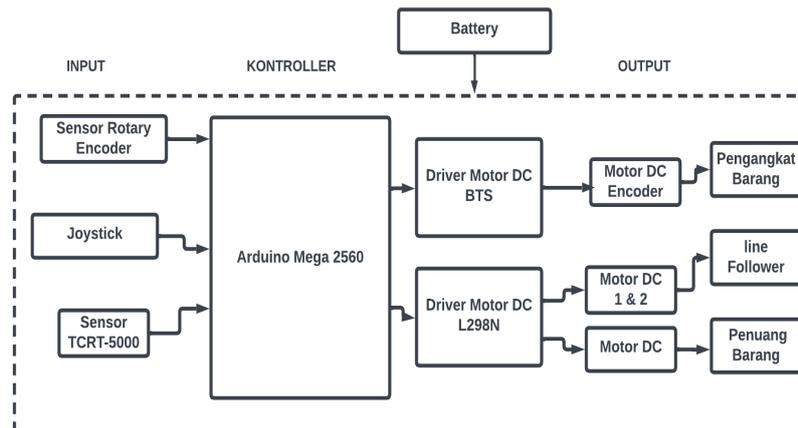
Modul Joystick

Modul *joystick* merupakan komponen analog memiliki bentuk seperti tuas dapat digerakkan ke berbagai arah pada posisi yang diinginkan sebagai *input* suatu rangkaian. Memiliki 2 sumbu *axis* yaitu x dan y sehingga dapat digerak ke segala arah bekerja dengan tegangan 5V dengan output 0V sampai 5V dari sumbu -x ke x atau -y ke y dan sebaliknya[18].

METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian dilakukan beberapa tahapan perancangan yang bertujuan mendapat hasil yang sesuai, serta membantu dalam menentukan komponen yang akan digunakan. Beberapa tahapan yang dilakukan dalam pembuatan alat yaitu perancangan diagram blok, perancangan mekanik robot, perancangan pengendali. Berikut langkah-langkah yang dilakukan.

Diagram blok



Gambar 1. Diagram blok keseluruhan

Blok diagram gambar 1 diatas yaitu bagian yang digunakan untuk memberikan gambaran mengenai komponen sistem dalam perancangan alat, serta fungsi dan kegunaan masing-masing dan hubungan antar *input*, *kontroller*, dan *output* untuk mencapai tujuan sistem. Beberapa fungsi *input* dan *Output* yang digunakan pada robot pemindah barang ini, yaitu *joystick* sebagai penggerak motor dc mengangkat wadah naik dan turun dan pengaktif robot untuk berjalan. Sensor TCRT-5000 sebagai pendeteksi jalur robot bergerak melintasi garis (*line follower*). Dan komponen komponen pendukung yaitu *driver* sebagai pengontrol dari *output* yang membutuhkan tegangan kerja besar yang dibutuhkan beban untuk bekerja sehingga dapat berjalan.

Perancangan Mekanik



Gambar 2. Kerangka Mekanik Robot

Mekanik pada robot pemindah barang ini menggunakan 4 roda. 2 roda terdapat motor dc berada di bagian belakang sebagai penggerak robot untuk berjalan menuju titik pemindahan barang. Kemudian pada bagian pengangkatan wadah, terdapat 2 motor dc sebagai penggerak wadah, 1 motor dc sebagai

penuangan dan 1 motor dc sebagai pengangkat dengan sistem naik dan turun menggunakan katrol terdapat di bagian belakang. Robot pemindah barang ini memiliki tinggi 88cm, serta panjang 55.5cm, dan lebar 45.5cm.

Perancangan Pengendali

Pada perancangan pengendali dapat ditentukan sistem yang digunakan, metode dalam pengambilan data sistem PID dari robot pemindah barang ini menggunakan ziegler-nichols 2 yaitu berdasarkan osilasi digunakan untuk menentukan konstanta parameter PID dengan sistem *close loop*. Metode ini digunakan untuk mencari nilai terdekat dalam menentukan parameter Kp, Ki dan Kd terhadap sistem untuk menghasilkan respon sistem yang sesuai. Rancangan parameter dibuat dengan menggunakan nilai Kp, Ti, dan Td. Dalam proses *tunning* awal dilakukan langkah-langkah berikut.

1. Mencari nilai osilasi, nilai yang dipakai hanya Kp sedangkan Ti dan Td tidak dipakai.
2. Menaikkan nilai Kp sampai menciptakan gelombang yang berosilasi yang berkesinambungan.
3. Menentukan nilai Kcr dan Pcr dari gelombang osilasi dari nilai Kp tadi.
4. Menkalkulasikan nilai Kcr dan Pcr dengan rumus yang ditetapkan pada tabel 1.

Tabel 1. Tuning PID ziegler-nichols 2

Tipe Parameter	Kp	Ti	Td
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

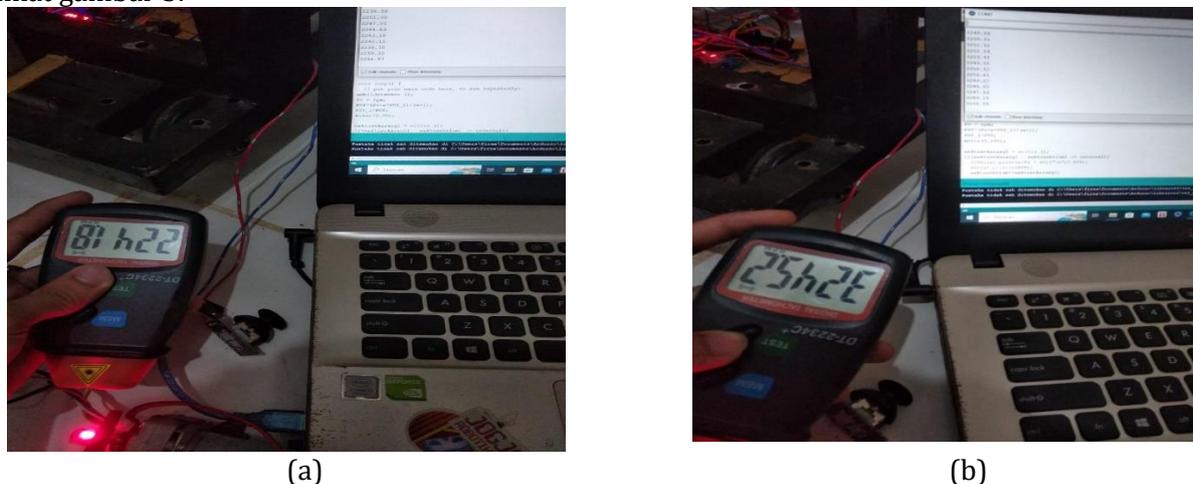
Tabel 1 diatas merupakan cara menentukan atau mencari parameter PID yaitu nilai Kp, Ti, dan Td, setelah mendapat nilai Pcr dan Kcr dari langkah-langkah diatas. Selanjutnya nilai dimasukkan kedalam program pada *mikrokontroler* proses perhitungan PID yang dihasilkan akan mengendalikan sistem putaran kestabilan motor dc.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan akan dilakukan dengan menguji alat dari komponen yang digunakan serta menguji hasil dari permasalahan diteliti. Untuk menentukan apakah sistem alat dapat berjalan dan sesuai sama tujuan yang diterapkan. Berikut hasil beserta pembahasan yang diperoleh.

Pengujian Sensor Rotary Encode

Pengujian dilakukan dengan meletakkan sensor *rotary encoder* berada satu poros dengan batang as motor dc sehingga kecepatan yang terbaca kecepatan motor dc yang sebenarnya, *driver* motor dc digunakan adalah BTS 7690. Berikut hasil pembacaan dari *serialmonitor* Arduino dan tachometer dilihat gambar 3.



Gambar 3. Pengujian hasil tampilan pembacaan sensor rotary encoder dan tachometer

Hasil pengujian dilihat dari *serialmonitor* yang ditampilkan *mikrokontroller* Arduino dari perhitungan manual dan membandingkan dengan pembacaan menggunakan tachometer dan didapat hasil tabel 2 berikut.

Tabel 2. Pengujian Sensor rotary encoder

Percobaan	Microkontroller (rpm)	Tachometer (rpm)	Error (rpm)
1	2246.9	2241.8	5.1
2	3250.5	3245.2	5.3
3	5818.7	5821.5	3

$$Error = \frac{2241.8 - 2246.9}{2241.8} \times 100\%$$

$$Error = 0.2\%$$

Sehingga perbedaan nilai kesalahan yang didapat $\pm 0.2\%$, hasil tidak jauh berbeda dari pembacaan menggunakan tachometer.

Pengujian Kecepatan Motor DC dengan PWM

Batas dari maksimal kecepatan motor dc diketahui dengan memberikan nilai pwm dari kontroller untuk melihat seberapa cepat rpm yang dihasilkan dengan memberikan pwm maksimal dan pwm minimal sehingga diketahui *output* yang dapat digunakan sebagai *setpoint* untuk mengangkat wadah, nilai tegangan yang digunakan untuk menggerakkan motor dc adalah 24V, sehingga didapat hasil tabel 3.

Tabel 3. Pengujian kecepatan motor dc dengan pwm

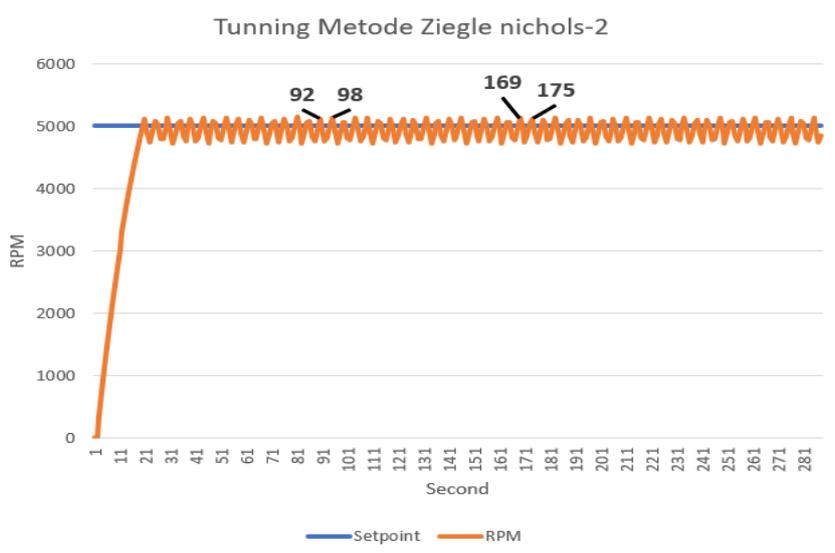
PWM		Pengukuran		Keadaan Wadah
R	L	Mikrokontroller	Tachometer	
30	0	946.78	945.5	Naik
50	0	1597.6	1594.8	
100	0	3244.6	3247.3	
150	0	4910.9	4907.6	
200	0	6587.7	6590.2	
255	0	8387.2	8385.8	
0	30	918.04	916.4	Turun
0	50	1577.6	1572.6	
0	100	3243.6	3245.8	
0	150	4912.5	4909.3	
0	200	6615.4	6618.2	
0	255	8394.8	8396.2	

Tabel 3 diatas dimulai pada memasukkan *input* 30 pwm karena motor dc menggunakan *gearbox* sehingga motor belum berputar. Letak sensor *rotary encoder* untuk membaca rpm motor dc, berada satu poros dengan batang as motor dc. Dapat dilihat kecepatan maksimal dari motor dengan nilai 255 pwm yaitu sekitar ± 8400 rpm dengan membandingkan kecepatan yang terbaca pada tachometer hampir sama.

Tunning Kendali Parameter PID

Menentukan kecepatan motor yang diperlukan untuk mengangkat barang ke atas, kecepatan yang diberikan pada proses pengangkatan diberi *setpoint* dengan kecepatan 5000 rpm. Kemudian melihat respon, setelah itu dilakukan penentuan parameter PID dengan metode yang digunakan yaitu metode dari Ziegler-Nichols-2, penentuan dimulai dari respon Kp dengan memasukkan nilai dari 0 dan

seterusnya sampai beresilasi. Untuk nilai T_i dan T_d belum digunakan. Respon K_p yang didapat mencari osilasi dilihat gambar 3.



Gambar 3. Grafik osilasi mencari P_{cr} dan K_{cr}

Gambar 3 diatas respon beresilasi, nilai osilasi tersebut didapat dari nilai $K_p = 0.97$, osilasi yang ditimbulkan digunakan mencari nilai K_{cr} dan P_{cr} . Diketahui nilai $K_{cr} = 0,97$ merupakan nilai K_p , selanjutnya mencari nilai parameter yang diperlukan sebagai berikut.

$$K_{cr} = 0.97$$

$$P_{cr} = 6 \text{ (dengan } timesampling \text{ 1s)}$$

Sehingga K_p , T_i , T_d daat dicari menggunakan rumus pada tabel 1 dan didapatlah hasil.

$$K_p = 0.58$$

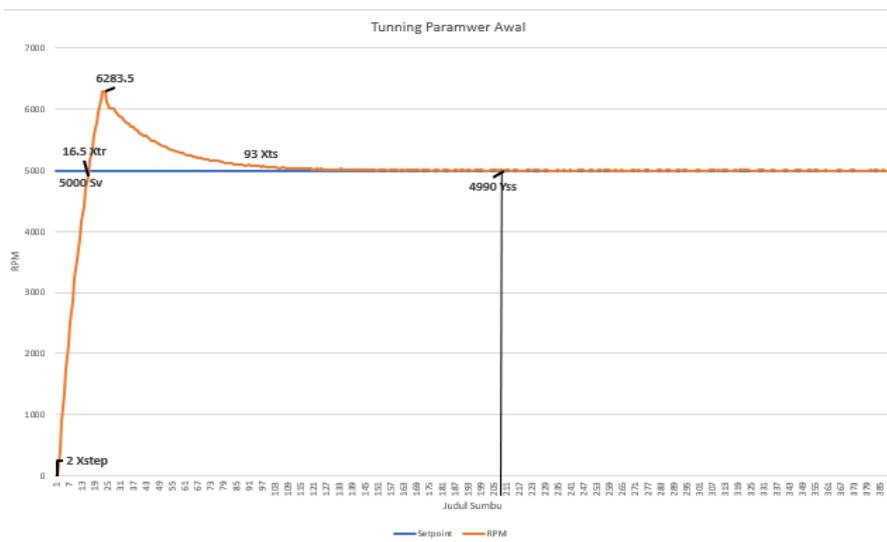
$$T_i = 2.5$$

$$T_d = 0.625$$

$$K_i = K_p/T_i = 0.58/2.5 = 0.232$$

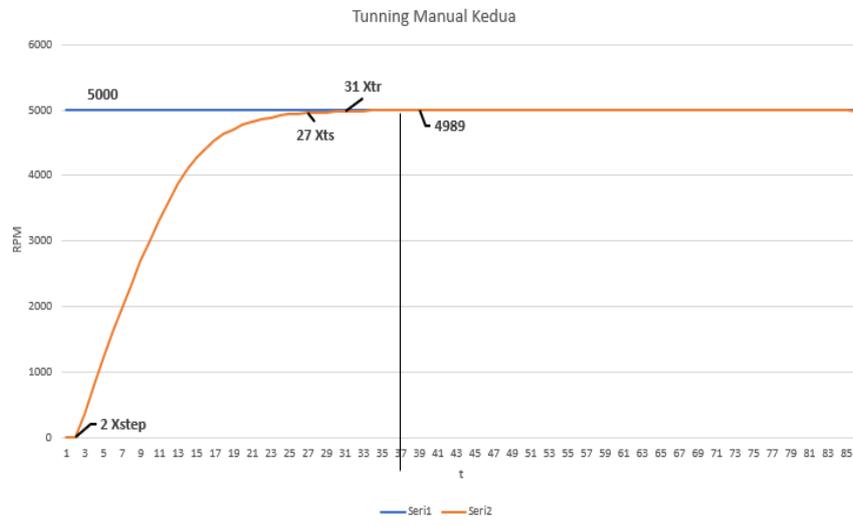
$$T_d = K_p \cdot T_d = 0.58 \cdot 0.625 = 0.9$$

Nilai parameter K_p , K_i dan K_d yang didapat dilihat respon sistem parameter awal sebagai berikut gambar 4.



Gambar 4. Grafik respon *tuning* parameter awal

Respon dapat mencapai stabil tetapi *overshoot* yang didapat masih terlalu besar sekitar 25.8% dan waktu menuju stabil atau *settlingtime* adalah 11.5s. sehingga dilakukan *tunning* manual berikut hasil respon dilihat gambar 5.



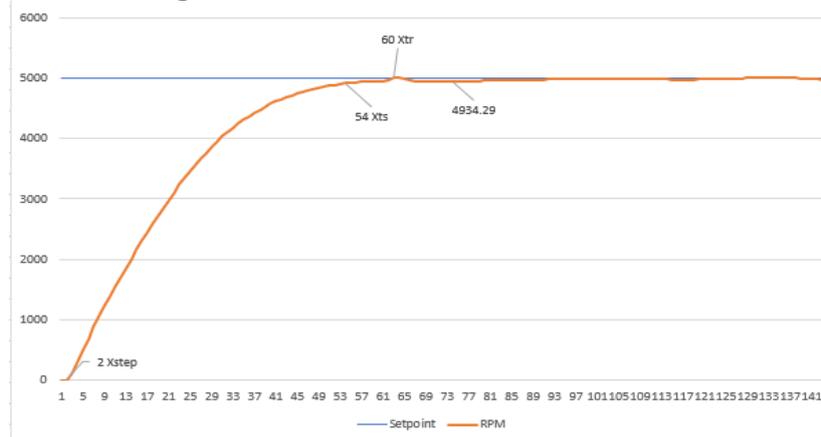
Gambar 5. Tuning manual respon motor dc

Respon didapat cukup baik dimana sistem *overshoot* tidak terlalu besar. Sehingga dilakukan *tunning* lagi dan didapat nilai yang cukup baik yaitu $K_p = 0.159$, $T_i = 1.8$, dan $T_d = 0.004$. hasil respon adalah Gambar berikut. Setelah mendapat respon sistem yang sesuai dan didapatlah *overshoot* yang tidak ada serta *risetime* yang didapat adalah 3.5s untuk sampai *setpoint* dari elemen PID.

Pengujian Sistem Respon Motor Dc

Menguji Respon sistem dari PID yang dilakukan dengan beban yang berbeda. meletakkan benda di dalam wadah, setelah itu motor dc diaktifkan untuk memutar katrol dan mengangkat benda tersebut naik dan turun. Respon dilihat pada serial monitor dengan melihat grafik hasil dari pengujian tersebut.

a. Pengujian beban 2000g



Gambar 6. Grafik respon motor kondisi beban 2000g

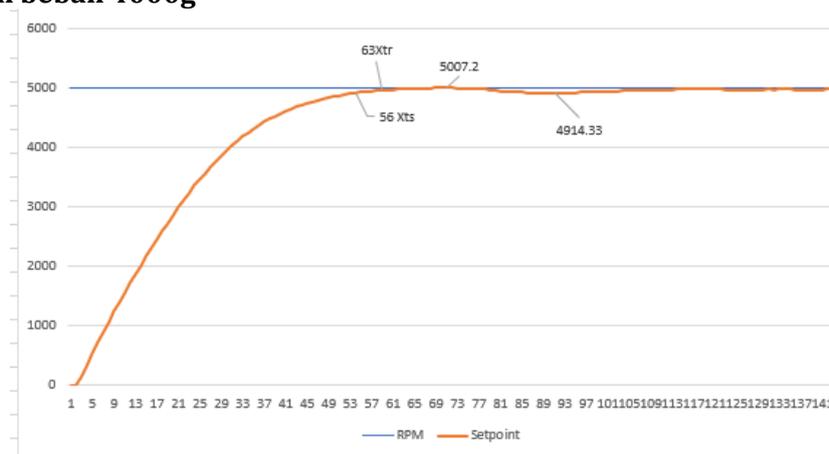
Pengujian terhadap beban 2000 gram. Hasil bisa mencapai *setpoint*, terdapat *steady-state* dikarenakan beban yang diangkat, kontroller menyesuaikan terhadap *error* yang terjadi dari kecepatan motor yang dibaca *rotary encoder* dan mencoba untuk menstabilkan kondisi. Terdapat beberapa penjelasan sebagai berikut hasil yang didapat dari respon sistem.

1. *Risetime* yang dibutuhkan mencapai yaitu 4.54 second
2. *Settlingtime* yang didapat respon menuju titik stabil yaitu 4.07 second.

3. *Overshoot* yang terdapat adalah 5002.69 rpm. $\%OS = \frac{5003.69-5000}{5000} \times 100\% = 0.07\%$
4. *Error steady state* ditimbulkan adalah 4934.29 rpm sehingga didapat persentasi *error steady state*.
 $Ess = \frac{5000-4934.29}{5000} \times 100\% = 1.31\%$

Didapat *error steady-state* 1.31%, ketika mengangkat beban yaitu dalam rpm kesalahan muncul 65.71 rpm.

b. Pengujian beban 4000g



Gambar 7. Grafik respon kondisi beban 4000g

Dari gambar 7 diatas perubahan beban memberikan pengaruh dimana *error steady-state* bertambah. Respon masih dapat menstabilkan. *Overshoot* yang ditimbulkan tidak terlalu terlihat tetapi ada hanya saja kecil dibawah 5%. Berikut keterangan dari respon dengan beban 4000g didapat.

1. *Risetime* yang dibutuhkan mencapai yaitu 4.77 second
2. *Settlingtime* yang didapat respon menuju titik stabil yaitu 4.02 second.
3. *Overshoot* yang terdapat adalah 5007.5 rpm. $\%OS = \frac{5007.5-5000}{5000} \times 100\% = 0.15\%$
4. *Error steady state* ditimbulkan adalah 4914.33 rpm sehingga didapat persentasi *error steady state*.

$$Ess = \frac{5000-4914.33}{5000} \times 100\% = 1.7\%$$

Didapat *error* yang muncul akibat beban yaitu 1.7% atau 85.67 rpm setelah itu respon dapat mengkondisikan kesalahan tersebut menjadi stabil.

Dari kedua pengujian terhadap beban diketahui menghasilkan *error steady-state* dibawah 5% atau 250 rpm diperoleh dari pengujian alat berarti cukup baik. Sistem dapat mengatur kondisi meskipun berbeda beban dan bisa stabil dalam proses pengangkatan naik dan turun.

KESIMPULAN

Setelah mendapatkan hasil dan analisa dapat diketahui kesimpulan didapat Sistem kendali PID yang diterapkan dapat berjalan baik pada pengendalian kestabilan putaran motor dc sebagai pemutar katrol dalam mengangkat barang ke tempat yang tinggi menggunakan sistem *lift*. Dengan perolehan nilai parameter konstanta $Kp=0.159$, $Ti=1.8$, dan $Td= 0.004$. Sehingga didapat hasil respon yang baik, *error* dari nilai kesalahan dibawah 5%, yaitu untuk beban 2000g hanya 1.31% *error* dari rpm dengan *settling time* 4.07 detik dan untuk beban 4000g hanya 1.7% *error* dari rpm dengan *settling time* 4.02 detik. Putaran motor dc dapat menyesuaikan beban yang diangkat menggunakan sistem *lift* dengan kecepatan input *setpoint* 5000 rpm sebagai referensi, dari nilai kesalahan yang timbul dapat diperbaiki oleh sistem dengan cepat. Sehingga sistem dapat diimplementasikan pada robot pemindah barang ini. Menggunakan metode Ziegler-Nichols memberikan nilai parameter sistem hanya mendekati respon sistem yang diinginkan, sehingga perlu dilakukan *tunning manual* dan mendapat hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Yudianingsih, E. L. Utari, and I. Mustiadi, "Sistem Perancangan Robot Pemindah Barang Berbasis Line Follower," *Respati*, vol. 17, no. 1, p. 36, 2022, doi: 10.35842/jtir.v17i1.439.
- [2] M. M. Syeichu, P. W. Rusimamto, and I. G. P. A. Buditjahjanto, "Desain Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Dc Pada Prototipe Elevator Menggunakan Hybrid Fuzzy-Pid Controller," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 405–412, 2021.
- [3] Muhammad Arsyad Budiman, "Muhammad Arsyad Budiman," *Kontrol Posisi Dan Kecepatan Lift Menggunakan Kendali Pid Lift Position Speed Control With Pid Controll.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [4] M. Picf, "PIC16F877 dengan software Proteus 8 Profesional dan Ld Micro dan sensor yang digunakan dalam robot line follower ini adalah sensor menggunakan fotodiode .," *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 7, no. 2, pp. 267–273, 2018.
- [5] S. Ruswanto, E. S. Ningrum, and I. Ramli, "Pengatur Gerak Dan Keseimbangan Robot Line Tracer Dua Roda Menggunakan PID Controller," *13th Ind. Electron. Semin. 2011*, vol. 2011, No. 1es, pp. 978-979, 2011.
- [6] I. Riyanto, L. Margatama, R. Rizkia, and E. Marantika, "Robot Forklift Line Follower dengan Kendali PID dan Sensor Warna," *urnal Ilm. Teknol. Energi, Teknol. Media Komun. dan Instrumentasi Kendali.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–16, 2021, [Online]. Available: <http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/joule/>
- [7] Raharja Haadi. (2022). *Prototipe Robot Keseimbangan Menggunakan Mmikrokontroler Arduino Dengan Teknik Kendali Berbasis PID*. Tasikmalaya: Universitas Siliwangi.
- [8] Z. Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler," *J. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–88, 2015.
- [9] Basriansyah, F. (2022). *Sistem Kendali Self Balancing dengan Komunikasi Bluetooth*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [10] D. Anisa and A. Firdaus, "Robot Scissor Lift Untuk Memindahkan dan Menyusun Barang Pada Rak Menggunakan Lego Mindstorms 51515," *J. Lap. Akhir Tek. Komput.*, vol. 1, no. 2, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/JLATAK/article/view/4615%0Ahttps://jurnal.polsri.ac.id/index.php/JLATAK/article/download/4615/1836>
- [11] A. Adella, M. Kamal, and A. Finawan, "Rancang Bangun Robot Mobile Line Follower Pemindah Minuman Kaleng Berbasis Arduino," *J. Tektro*, vol. 2, no. 2, pp. 7–11, 2018.
- [12] B. Herdiana and Z. Mutaqin, "Perancangan Prototype Robot Forklift Penyusun Barang Otomatis 3 Lantai Berbasis Mikrokontroler Design of Prototype Robot Forklift Compilers Automatic 3 Floors Based Microcontroller," *Telekontran*, vol. 5, no. 2, pp. 131–144, 2017.
- [13] Hidayat, M. A. (2022). *Kendali ARM Gripper pada Robot Pengangkut Sampah Menggunakan PID Berbasis Arduino*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [14] I. Novianty and W. Sholihah, "Implementasi Alat Pencacah Daun Bambu Kering sebagai Media Tanam dengan Arduino Uno," *Multinetics*, vol. 8, no. 2, pp. 105–114, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.pnj.ac.id/index.php/multinetics/article/view/4714%0Ahttps://jurnal.pnj.ac.id/index.php/multinetics/article/download/4714/2660>
- [15] A. Muis, "Rancang Bangun Konveyor Pengirim Makanan Pada Restoran Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode PWM," *Sinusoida*, vol. XXII, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.istn.ac.id/index.php/sinusoida/article/view/753%0Ahttps://ejournal.istn.ac.id/index.php/sinusoida/article/download/753/557>
- [16] S. Sudimanto and K. Kevin, "Perancangan Robot Pemindah Barang Berbasis Line Follower," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7807.
- [17] A. Virgono, U. Sunarya, and N. Ayu, "PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM MONITORING KECELAKAAN MOBIL BERBASIS VEHICULAR AD HOC NETWORK (VANET) MENGGUNAKAN PROTOKOL IEEE 802.11," *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 810, 2016, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/3348/0>
- [18] N. Agustina, "Perancangan Digital Wireless Remote Stick Commander untuk Pengendali Camera Crane dan Pan Tilt Head Berbasis Sensor Accelerogyro," p. 105, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/46808/>