

DESAIN SISTEM KONTROLER PID TYREUS-LUYBEN PADA KENDALI SUDUT AERO PENDULUM BERBASIS LABVIEW

Arfiyan Wildan Habibi

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231,
Indonesia
e-mail: arfiyanhabibi@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah, M. Syarffudin Zuhrie, Bambang Suprianto

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail: endryansyah / zuhrie@unesa.ac.id / bambangsuprianto @unesa.ac.id

Abstrak

Aero Pendulum adalah salah satu dari sekian banyak contoh dari sebuah kendaraan tanpa awak atau *Unnamed Aerial Vehicle* (UAV). *Aero Pendulum* adalah sejenis pendulum mekanik yang memiliki baling-baling di salah satu ujung pendulum bebasnya dan menggunakan daya dorong agar dapat bekerja. Dengan tidak adanya pilot/awak pada alat ini, maka memungkinkan dimanfaatkan untuk melakukan misi berbahaya dengan menekan/tanpa adanya resiko nyawa. Proses menstabilkan posisi sudut pendulum adalah permasalahan utama yang ada. Hasil simulasi dari penelitian ini memperlihatkan bahwa kendali PID berhasil dibuat dan bekerja dengan baik juga dapat menghasilkan respon yang sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan. Nilai parameter PID yang diterapkan pada simulasi sistem pada LabVIEW dengan tuning *Tyreus-Luyben* yaitu $K_p=0.0313$, $K_i=0.0355$ dan $K_d=0.002$. Respon terbaik dihasilkan pada data dengan *setpoint* 60° , dengan nilai *tp* yang dihasilkan yaitu 129.65 detik, nilai *td* sebesar 14.49 detik, nilai *tr* sebesar 45.95 detik, nilai *ts* sebesar 62.74 detik, maksimum overshoot sebesar 60.8° dan *Error Steady-State* sebesar 0.1%.

Kata Kunci: *Aero Pendulum*, PID, *Tyreus-Luyben*, LabVIEW.

Abstract

Aero Pendulum is an example of few kinds of *Unnamed Aerial Vehicle*. *Aero Pendulum* is a type of pendulum which assembled with a propeller motor and using thrust to work. The process to stabilize the angle is the problem that appear. There is no pilot in this device, because of that, it is possible to be used for dangerous mission which decreased or nullify the risk for human's life. The result indicate that PID controller was successfully created and worked well also produce the response appropriate with certain setpoint. The PID parameter which was implemented for the system simulation on LabVIEW with *Tyreus-Luyben* tuning method are $K_p=0.0313$, $K_i=0.0355$ dan $K_d=0.002$. The best response obtained while the setpoint was 600, which has a peak time (*tp*) of 129.65 seconds, delay time (*td*) of 14.49 seconds, rise time (*tr*) of 45.95 seconds, settling time (*ts*) of 62.74 seconds, maximum overshoot of 60.80 and error steady-state (*Ess*) of 0,1%.

Keyword: *Aero Pendulum*, PID, *Tyreus-Luyben*, LabVIEW.

PENDAHULUAN

Perkembangan pesat sedang dialami oleh bidang teknologi, salah satunya terjadi pada kendaraan tanpa awak atau *Unnamed Aerial Vehicle* (UAV). UAV bukan merupakan penemuan baru. Pertama kali diperkenalkan pada Perang Dunia I namun tidak diterbangkan secara otomatis seperti akhir-akhir ini. Manfaat penggunaan UAV adalah tidak adanya pilot/awak manusia sehingga dapat menekan risiko saat melakukan misi berbahaya. Kemampuan bermanuver dari perangkat ini memungkinkan untuk digunakan di dalam dan juga luar ruangan. Permasalahan yang ada pada sebuah perangkat

singlerotor/multirotor adalah stabilitas terbang, jika tidak ada keseimbangan beban maka sikap terbangnya akan terpengaruh, yang mungkin membuat beban terjatuh saat berada di udara. Karena itu untuk mengatasi efek gaya gravitasi tersebut dibutuhkan tenaga motor (Inkyu Sa, 2011).

Perangkat *aero pendulum* merupakan pendulum mekanik yang memiliki baling-baling pada salah satu ujungnya (lengan bebasnya). Dinamika dari kendaraan terbang lebih kompleks dari robot di darat, jadi kendali dari sebuah *plant* yang non linear menimbulkan permasalahan baik dari segi praktis dan teoretis (G. Szafranski, 2011)

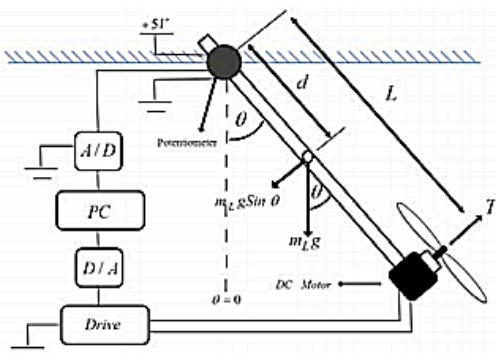
Posisi sudut pendulum pada bidang tunggal distabilkan terhadap gravitasi untuk setiap posisi yang diinginkan dengan menggunakan *propeller* bertenaga motor *brushless* DC (Y.Taskin, 2017).

Pada tahun 2010, H. Kizmaz, S. Aksoy dan A. Muhurcu membuat penelitian tentang “*Sliding Mode Control of Suspended Pendulum*” penelitian ini menghasilkan desain sistem pendulum dengan kendali algoritma *sliding mode control*, Makalah ini mengusulkan perancangan kendali dengan metode kontrol yang lain, seperti PID dan Fuzzy Logic Control. Pada tahun 2019, Aris Dwi Romadhon membuat penelitian tentang *aero pendulum* dengan menggunakan controller PID dengan tuning *Ziegler-Nichols*. Penelitian ini menghasilkan respon system dengan pengendali PID yang bekerja dengan baik. Penelitian ini juga mengusulkan penelitian sistem *aero pendulum* dengan metode tuning PID lainnya.

Dengan berdasar latar belakang masalah dan hasil dari studi literatur dari penelitian-penelitian sebelumnya maka akan dilakukan penelitian yang menggunakan judul “Desain Sistem Kontroler PID Tyreus-Luyben pada Kendali Sudut Aero Pendulum Berbasis Labview”. Perancangan sistem kendali pada penelitian ini menjadi suatu tahapan dalam mengendalikan dan menstabilkan posisi sudut yang akan diinput dengan menggunakan MPU6050 sebagai sensor dari motor DC sebagai penggerakannya. Penelitian ini juga menggunakan *software* LabVIEW untuk melihat respon dari sistem *aero pendulum* tersebut.

Aero Pendulum

Dapat dilihat pada Gambar 1, terdapat sebuah motor DC dengan baling-baling untuk menggerakkan sebuah tongkat, saat tegangan diberikan, baling-baling akan berotasi dan menimbulkan torsi yang menggerakkan pendulum tersebut.



Gambar 1. Diagram Sistemastis dari Sistem Pendulum (Sumber : R. Ghasemi, 2014)

Tujuannya adalah memerintahkan pendulum menuju sudut yang spesifik. Pendulum ini dilengkapi sebuah sensor

untuk menunjukkan sudut yang dihasilkan tongkat. Keuntungannya yakni dapat mengendalikan pergerakan dengan menyesuaikan tegangan yang diberikan. Oleh karena itu, sistem ini mengendalikan variabel yaitu sudut pendulum yang menetap dan memanipulasi variabel tegangan yang diterapkan kepada baling-baling bermotor. Berdasar momentum sudut dan hukum Newton, persamaan gerak pendulum dapat diturunkan hingga menjadi

$$J.\ddot{\theta} + c.\dot{\theta} + m_L.g.d.\sin\theta = T \tag{1}$$

Hasil persamaan tersebut, kemudian di *Laplace* kan menggunakan domain *s* menjadi

$$J.s^2\theta(s) + c.s\theta(s) + m_L.g.d\theta(s) = T(s) \tag{2}$$

Sehingga didapatkan fungsi alih

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1}{J.s^2 + c.s + m_L.g.d} \tag{3}$$

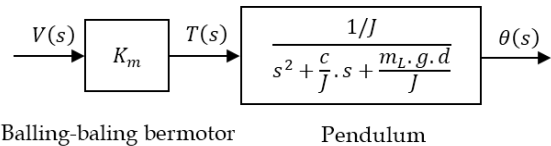
Persamaan 3 dapat disederhanakan hingga menjadi

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1/J}{s^2 + \frac{c}{J}.s + \frac{m_L.g.d}{J}} \tag{4}$$

Menghasilkan persamaan rasional antara daya dorong (T) dengan tegangan (V) yang digunakan untuk motor DC dengan variabel yang dimanipulasi dan disesuaikan untuk diberikan ke sistem kontrol pendulum dapat ditulis sebagai berikut :

$$T(s) = K_m.V(s) \tag{5}$$

Kemudian dari persamaan (4) dan (5) dapat ditunjukkan diagram blok dari sistem *aero pendulum* pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Open Loop dari Sistem Aero Pendulum (Sumber : Raju,dkk 2012)

Menurut Gambar 2, fungsi alih *aero pendulum* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m/J}{s^2 + \frac{c}{J}.s + \frac{m_L.g.d}{J}} \tag{6}$$

Keterangan :

- s = hasil dari Laplace dalam domain waktu
- T = gaya dorong yang disediakan oleh motor brushless DC (Nm/kg)
- T(s) = gaya dorong dalam domain waktu (Laplace)
- V = tegangan yang diterapkan pada motor brushless DC (Volt)
- V(s) = tegangandalam domain waktu (Laplace)

- K_m = parameter motor propeller
- m = berat bandul (kg)
- d = jarak dari titik gantung ke pusat massa (m)
- J = momen inersia ($kg \cdot m^2$)
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- c = koefisien redaman kental ($kg \cdot m^2/s$)

PID Tyreus-Luyben

Banyak pilihan sistem kendali yang dapat digunakan pada sebuah *plant* dan salah satunya yakni kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative), yaitu metode pengendalian *plant* yang seringkali diterapkan pada industri dengan alasan kestabilan dan struktur sederhana yang mana perlu dipergunakan saat sebuah solusi dari umpan balik (*feedback*) dibutuhkan.

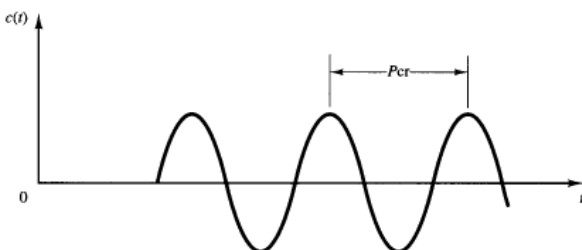
Tuning kontroler merupakan proses dalam memilih parameter pada sistem kendali dengan tujuan memenuhi spesifikasi kerja yang dibutuhkan. Salah satu cara *tuning* adalah metode Tyreus-Luyben. Penelitian dengan tujuan mendapatkan nilai parameter Kontroler *Proportional* (K_p), Waktu *Integral* (T_i), dan Waktu *Derivative* (T_d) dilakukan oleh L.Luyben pada tahun 1992. Metode ini memiliki kesamaan dengan metode *tuning* Ziegler-Nichols namun memiliki perbedaan dalam perhitungan parameter kontroler PID tersebut. Metode *tuning* ini akan menghasilkan nilai *overshoot* sebesar 25%, dan biasanya digunakan untuk memberikan respon gangguan yang lebih baik juga mengurangi respon osilasi (Ahmad, Taan 2015).

Tabel 1. Penentuan Parameter PID Tyreus-Luyben

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
PI	$0.45K_{cr}$	$2.2P_{cr}$	0
PID	$0.313K_{cr}$	$2.2P_{cr}$	0.16

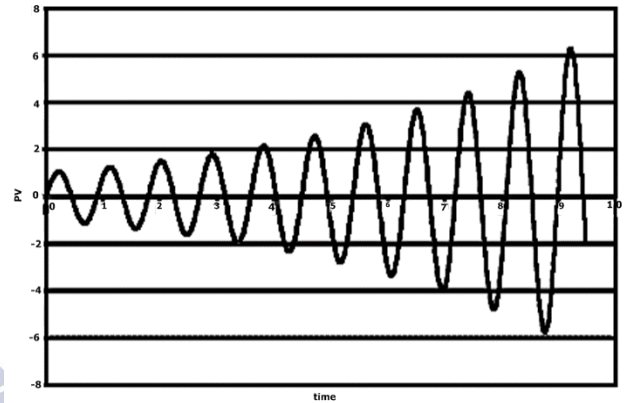
(Sumber : Ahmad, Taan 2015)

Metode PID ini mencari nilai K_p yang menghasilkan osilasi konsisten (Gambar 3) dengan cara menaikkan nilai K_p yang semula 0.



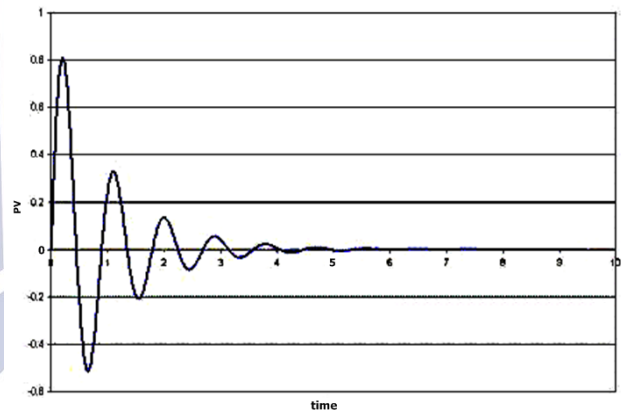
Gambar 3. Osilasi Konsisten
(Sumber : Ogata, 2010)

Apabila nilai K_p yang diterapkan terlalu besar, akan menghasilkan osilasi yang tidak stabil dan bertambah besar, dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Sistem Tidak Teredam
(Sumber : Katsuhiko Ogata, 2010)

Namun, jika nilai K_p sebaliknya, yakni terlalu kecil, maka dapat dilihat sinyal keluaran menjadi teredam dan menuju nilai titik keseimbangan setelah gangguan. seperti gambar 5.



Gambar 5. Sistem Teredam

(Sumber : Katsuhiko Ogata, 2010)

Motor Brushless DC

Motor *brushless* DC adalah aktuator listrik yang variable pengendalinya berupa tegangan input. Motor *brushless* DC digunakan karena efisiensi yang tinggi dan banyak dipakai pada rumah tangga hingga penggunaan pada industri, berbagai bidang bentuk juga ukuran. Salah satu kekuatan dari motor DC ini adalah tingginya torsi yang dimiliki dan dapat dibeli dengan berbagai jenis ukuran.

Inertial Measurement Unit (IMU)

Inertial Measurement Unit (IMU) merupakan sebuah alat yang mendapatkan data dari keberadaan dan juga pergerakan suatu benda dengan mengumpulkan data kecepatan angular dan akselerasi linear. IMU tersiri atas *gyroscope* untuk mengukur kecepatan rotasi suatu benda dan *accelerometer* untuk mengukur percepatan suatu

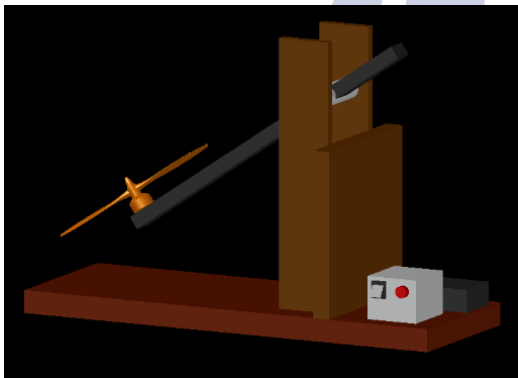
benda. Pada *Aero Pendulum* yang dibuat, penggunaan sensor MPU-6050 dimaksudkan untuk menggantikan sensor *accelerometer* dan *gyroscope*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya dan pengujian dilakukan di teras rumah di wilayah Kecamatan Jambangan, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini dimulai dengan mendapatkan informasi tentang permasalahan yang ada, kemudian permasalahan tersebut dijawab dengan proses pengujian sistem dengan parameter kontroller PID yang ada.

Rancangan Alat

Sistem aero pendulum berikut dirancang dengan komponen berupa motor DC, sensor MPU 6050, Arduino dan ESC.



Gambar 6. Rancangan alat sistem aero pendulum
(Sumber : Aris Dwi R, 2019)

Dalam menganalisis dan mengendalikan sebuah sistem fisik, menentukan model matematika merupakan sebuah kebutuhan. Mencari spesifikasi hardware adalah langkah yang harus dilakukan mencari pemodelan sistemnya. Spesifikasi hardware tersebut yang akan dimasukkan ke dalam fungsi alih. Spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Hardware

No.	Nama Alat	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Panjang Lengan	<i>L</i>	0,4	m
2.	Panjang Pusat Massa	<i>d</i>	0,2	m
3.	Massa	<i>m</i>	0,32	Kg
4.	Momen Inersia	<i>J</i>	0,512	Kg.m ²
5.	Percepatan Gravitasi	<i>g</i>	9,8	m/s ²
6.	Koefisien Redaman	<i>c</i>	0,0001	Kg.m ² /s

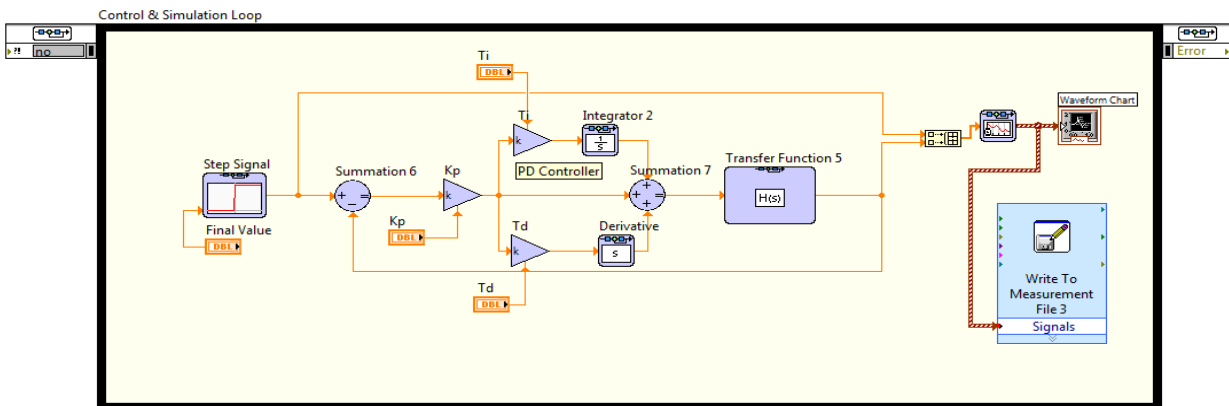
(Sumber :Aris Dwi R. 2019)

Dengan demikian nilai spesifikasi tersebut dapat menghasilkan pemodelan sistem yang fungsi alihnya sebagai berikut.

$$G(s) = \frac{13.6719}{s^2+0.00195s+12.25} \tag{7}$$

Rancangan Software Sistem

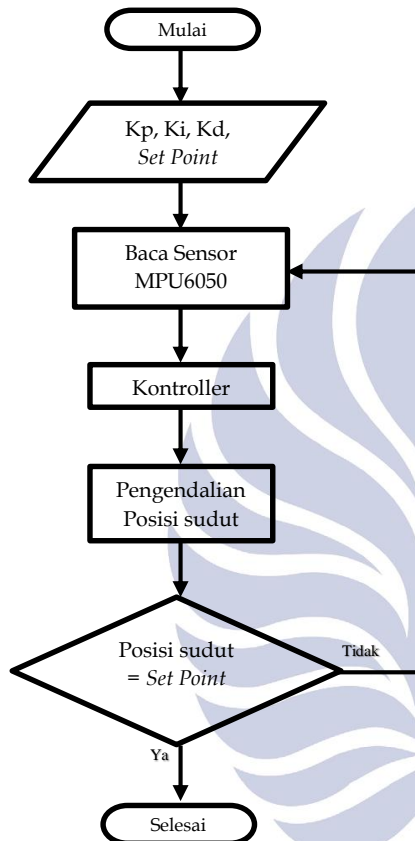
Vi-Diagram (Virtual Instrments Diagram) merupakan sebutan dari program pada LabVIEW, dikarenakan LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman dengan dasar blok diagram juga grafis. Vi-Diagram ini mensimulasikan respon dari sistem Aero Pendulum yang akan diberikan parameter PID untuk mengaturnya agar sesuai dengan setpoint.



Gambar 7. Diagram blok simulasi LabVIEW dengan kendali PID

Diagram blok sistem memiliki *setpoint* berupa *step signal*. Kemudian terdapat kontroler PID dengan masukan nilai parameter PID. Selanjutnya terdapat blok *transfer function* dengan masukan fungsi alih dari sistem *Aero Pendulum*.

Untuk menampilkan *output* respon dari sistem tersebut, digunakan *waveform chart* dengan hasil berupa grafik. Berikut adalah *flowchart* sistem kerja sistem *aero pendulum*

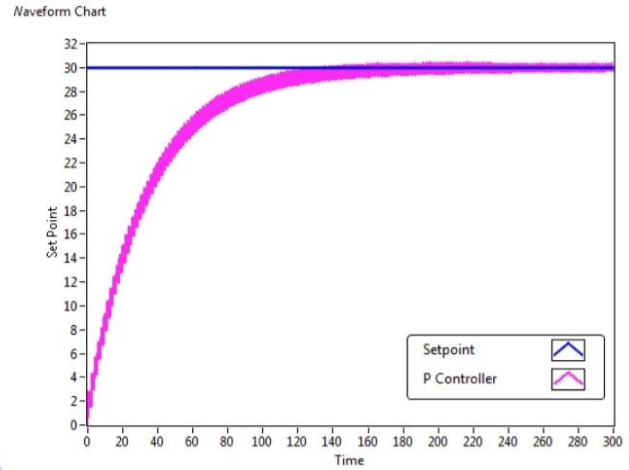


Gambar 8. Flow Chart cara kerja sistem

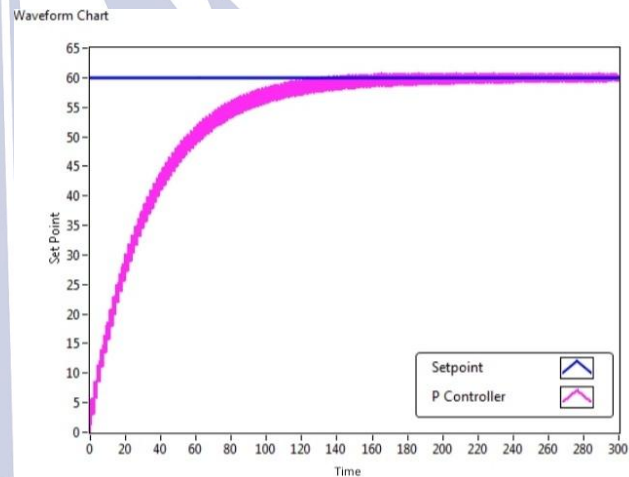
Saat sistem dimulai, langkah awal adalah memasukkan nilai parameter yaitu K_p, K_i dan K_d . Sensor akan membaca sudut yang dibentuk untuk kemudian kontroler menggerakkan motor dan membentuk sudut yang diinginkan. Ketika sudut belum sesuai *setpoint* maka sensor akan membaca kembali dan mengulangi proses sebagaimana hingga sudut sudah sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan

HASIL DAN PEMBAHASAN

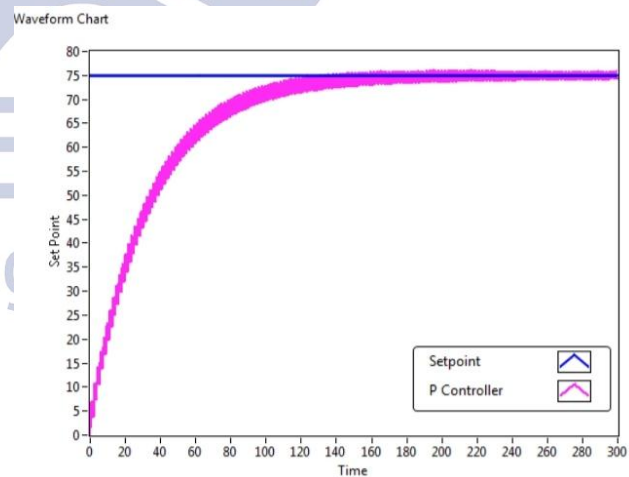
Penelitian pada simulasi sistem dilakukan dengan beberapa *setpoint*. Penelitian ini dilakukan dengan nilai parameter PID yakni $K_p=0.0313$, $K_i=0.0355$ dan $K_d=0.002$. Berikut adalah hasil penelitian simulasi sistem dari *Aero Pendulum* pada LabVIEW :



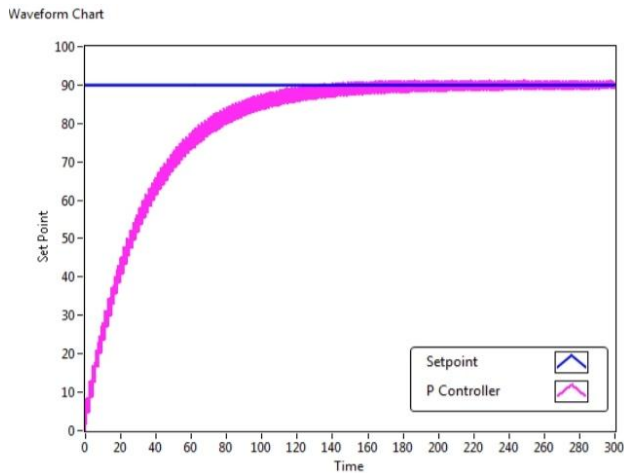
Gambar 9. Respon sistem pada *setpoint* 30^0



Gambar 10. Respon sistem pada *setpoint* 60^0



Gambar 11. Respon sistem pada *setpoint* 75^0



Gambar 12. Respon sistem pada *setpoint* 90⁰

Dari penelitian tersebut sistem dapat bekerja mencapai *setpoint* yang diinginkan. Untuk mendapatkan parameter respon, digunakan rumus analitik yakni sebagai berikut :

1. Waktu Tunda (*td*)

$$td = \tau \ln 2 \tag{8}$$
2. Waktu Naik (*tr*)

$$tr = \tau \ln 9 \tag{9}$$
3. Waktu Tunak (*ts*)

$$ts = 3\tau \tag{10}$$
4. Persentasi *Error Steady State* (*Ess*)

$$Ess = \frac{X_{ss} - Y_{ss}}{X_{ss}} \times 100\% \tag{11}$$

Keterangan :

τ = Waktu saat respon mencapai 63.2%

X_{ss} = *Setpoint*

Y_{ss} = Rata-rata respon saat *steady-state*

Berdasarkan tabel, parameter respon dapat diketahui yaitu berupa waktu puncak (*tp*), waktu tunda (*td*), waktu naik (*tr*), waktu tunak (*ts*), overshoot maksimum (*Mp*), dan *error steady state* (*Ess*). Pada *setpoint* 30⁰, nilai *tp* yakni 129.65 detik, nilai *td* 15.14 detik, nilai *tr* 47.99, nilai *ts* 65.53 detik, *Mp* 30.35 dan *Ess* 0.18%. Pada *setpoint* 60⁰, nilai *tp* yakni 129.65 detik, nilai *td* 14.49 detik, nilai *tr* 45.95, nilai *ts* 62.74 detik, *Mp* 60.8 dan *Ess* 0.1%. Dengan *setpoint* 75⁰, nilai *tp* yakni 129.69 detik, nilai *td* 14.37 detik, nilai *tr* 45.57, nilai *ts* 62.23 detik, *Mp* 76.01 dan *Ess* 0.1%. Sedangkan pada *setpoint* 90⁰, nilai *tp* yakni 129.65 detik, nilai *td* 17.59 detik, nilai *tr* 55.77, nilai *ts* 76.15 detik, *Mp* 91.21 dan *Ess* 0.1%.

Tabel 3. Hasil Respon Simulasi Sistem

Setpoint.	30 ⁰	60 ⁰	75 ⁰	90 ⁰
Waktu Puncak	129.65	129.65	129.69	129.65
Waktu Tunda	15.14	14.49	14.37	17.59
Waktu Naik	47.99	45.95	45.57	55.77
Waktu Tunak	65.53	62.74	62.23	76.15
Overshoot Maksimum	30.35	60.8	76.01	91.21
Error Steady State	0.18%	0.1%	0.1%	0.1%

PENUTUP Simplan

Berdasarkan data respon hasil penelitian sistem *Aero Pendulum* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan pengendali PID *Tyres-Luyben* bekerja dengan baik. Dari hasil *tuning Tyres-Luyben*, parameter PID yang digunakan yakni $K_p = 0.0313$, $K_i = 0.0355$, dan $K_d = 0.002$. Dengan menerapkan nilai tersebut pada simulasi sistem pada program LabVIEW didapatkan hasil respon sesuai dengan tabel 3. Respon terbaik didapatkan pada saat *setpoint* 60⁰, dengan nilai *tp* yaitu 129.65 detik, nilai *tr* sebesar 45.95 detik, nilai *td* sebesar 14.49 detik, nilai *ts* sebesar 62.74 detik, maksimum overshoot sebesar 60.8⁰ dan *Error Steady-State* sebesar 0.1%.

Saran

Metode PID *Tyres-Luyben* dapat memproses dan bekerja sehingga menghasilkan respon sistem yang dapat menyesuaikan dengan *setpoint* yang ditentukan. Untuk penelitian selanjutnya, bisa digunakan metode *tuning* PID yang lain atau metode kendali yang berbeda agar didapatkan hasil respon yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Ghasemi R. dan M.R.Rahimi Khoygani. 2014. "Designing Intelligent Adaptive Controller for Nonlinear Pendulum Dynamical System". International Journal of Computer, Electrical,

- Automation, Control and Information Engineering Vol:8, No:11, 2014.
- Kizmaz, Hakan, Aydin Muhurcu, dan S. Akson. 2010. "Sliding Mode Control of Suspended Pendulum". Modern Electric Power Systems, Wroclaw, Poland. MEPS'10 -paper P14.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. Modern Control Engineering Fifth Edition. Pearson Education, Inc. USA.
- Raju, S.Srinivasulu, T.S. Darshan, dan B.Nagendra. 2012. "Design of Quadratic Dynamic Matrix Control for Driven Pendulum System". International Journal of Electronics and Communication Engineering, Vol.5, pp.363-370.
- Romadhon Dwi, Aris dan Endryansyah. 2019. "Desain Sistem Pengaturan Posisi Sudut Aero Pendulum Menggunakan Pengendali PID Berbasis LabVIEW". Jurnal Teknik Elektro. Volume 08: 03, 637-645.
- Sa, Inkyu. 2011. "Indoor visual SLAM with a Quadrotor". University Queensland, July 2011.
- Szafranski, Gregorz. 2011. "Different Approaches of PID Control UAV Type Quadrotor". Silesian University of Technology, Gliwice, Poland.
- Taan, Ahmad. 2015. PID Controller Tuning. (<https://www.slideshare.net/AhmadTaan/pid-controller-tuning-49463158>) diakses pada tanggal 20 April 2020.
- Taskin, Yener. 2017. "Fuzzy Pid Controller For Propeller Pendulum". IU-JEEE Vol. 17(1),3175-3180.

