

**DINAMIKA KENDALI PID PADA *SINGLE LINK FLEXIBLE JOINT MANIPULATOR ROBOT* MENGGUNAKAN TUNING *ZIEGLER NICHLOS DAN TYREUS – LUYBEN***

**Achmad Khoirudin**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail : achmadkhoirudin16050874019@mhs.unesa.ac.id

**Muhamad Syariffuddien Zuhrie, Puput Wanarti Rusimamto, I Gusti Putu Asto Buditjahjanto**

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail : zuhrie@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id, asto@unesa.ac.id

**Abstrak**

Pada sistem robot modern fleksibilitas ialah kemampuan yang kurang diharapkan pada robot manipulator. Karena hal ini menyebabkan terjadinya getaran serta lendutan atau yang biasa disebut defleksi statis. Getaran atau yang biasa disebut vibrasi ialah momen gerakan bolak-balik yang terdapat pada jangkauan waktu. Getaran sendiri memiliki hubungan dengan gerak naik-turun gelombang atau osilasi benda serta gaya yang mempengaruhi gerak benda tersebut. Getaran muncul dikarenakan salah satunya oleh pengaruh dari luar. Pengaruh dari vibrasi yakni membuat tingkat akurasi menurun. Tujuan dari penulisan artikel ini ialah untuk mengetahui dinamika kendali pid pada *single link flexible joint manipulator robot* menggunakan tuning *Ziegler Nichlos* dan *Tyreus – Luyben*. Hasil keluaran karakteristik  $T_s$ ,  $T_r$ , serta  $T_d$  pada  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , serta  $270^\circ$  dengan *setting time* PID sebesar 3,1 s, 3,07 s, serta 3,85 s maupun PID *Tyreus –Luyben* sebesar 1,748 s, 3,22 s, serta 4,5 s. *Rise time* PID sebesar 1,375 s, 1,35 s, serta 1,25 s maupun PID *Tyreus – Luyben* sebesar 2,212 s, 4,0868 s, serta 6,0259 s. *Delay time* PID sebesar 0,43 s, 0,426 s, serta 0,39 s maupun PID *Tyreus –Luyben* sebesar 0,697 s, 1,2893 s, serta 1,9010 s. sehingga reaksi *setting time*( $T_s$ ), *rise time*( $T_r$ ), serta *delay time*( $T_d$ ) pada tuning *Ziegler Nichlos* terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tuning *Tyreus – Luyben*.

**Kata kunci :** *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot*, Kendali PID, *Ziegler Nichlos*, *Tyreus – Luyben*.

**Abstrack**

In modern robot systems flexibility is a capability that is less expected in a robot manipulator. Because this causes vibration and deflection or commonly called static deflection. Vibration or commonly called vibration is a moment of alternating movements found in the range of time. Vibration itself has a relationship with wave up and down motion or oscillation of objects and forces that affect the motion of the object. Vibration arises because one of them by outside influences. The effect of vibration is to make the level of accuracy decrease. The purpose of writing this article is to determine the effect of PID control by the Tyreus-Luyben method on the vibration of a single link flexible joint manipulator robot. The output characteristics of  $T_s$ ,  $T_r$ , and  $T_d$  at  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  and  $270^\circ$ . with a PID time setting of 3.1 s, 3.07 s, and 3.85 s and PID Tyreus-Luben with 1,748 s, 3.22 s, and 4.5 s. PID Rise time of 1,375 s, 1.35 s, and 1.25 s and PID Tyreus-Luben with 2,212 s, 4.0868 s and 6.0259 s. Delay time of PID was 0.43 s, 0.426 s, and 0.39 s and PID Tyreus-Luben were 0.697 s, 1.2893 s and 1.9010 s. so the reaction setting time ( $T_s$ ), rise time ( $T_r$ ), and delay time ( $T_d$ ) on tuning *Ziegler Nichlos* low when compared with the tuning *Tyreus – Luyben*.

**Keywords:** *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot*, PID Control, *Ziegler Nichlos*, *Tyreus – Luyben*.

## PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi merupakan hal yang tidak dapat dilepaskan dalam era ini, karena kemajuan teknologi akan berjalan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan. Setiap diciptakannya pengembangan teknologi bagi kehidupan manusia dirasa dapat memberikan manfaat yang positif. Teknologi juga memberikan banyak kemudahan, serta sebagai cara baru dalam melakukan aktivitas manusia. Manusia juga sudah menikmati banyak manfaat yang dibawa oleh inovasi-inovasi teknologi yang telah dihasilkan dalam dekade terakhir ini ( S1 Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa 2014 dan 2015, 2017).

Disisi lain inovasi teknologi dibidang robotik, komputer, telekomunikasi, bio – teknologi, internet serta mikro-elektronika sudah berubah pada metode pengembangan baru serta mengembangkan teknologi ke dalam sektor penghasil yang berteknologi tinggi dalam barang maupun jasa (Dwivedy dan Eberhard, 2006).

Di era milenial saat ini, berbagai pengembangan dunia industri telah dilakukan berbagai upaya dalam masa revolusi industri 4.0 Indonesia. Tergantikannya tenaga manusia telah di dominasi dengan sistem kendali otomatis yang tersedia. Semakin tinggi pengembangan teknologi robotika mampu merubah pola hidup manusia, salah satunya memasuki sisi hiburan serta akademis bagi manusia. Peningkatan kemampuan produksi berbagai pabrik dalam hal kualitas serta kuantitas (Dwivedy dan Eberhard, 2006).

Pada satu sisi, perkembangan dunia IPTEK yang demikian mengagumkan itu memang telah membawa suatu terobosan untuk manusia dalam kemajuan peradaban saat ini. Berbagai macam mesin otomatis tersedia mampu menggantikan tenaga manusia yang memang membutuhkan tenaga lumayan besar. Demikian juga ditemukannya formulasi-formulasi baru kapasitas komputer, seolah sudah mampu menggeser posisi elektabilitas berbagai bidang ilmu serta aktivitas bagi manusia. Singkat cerita memang sudah disahkan telah memberikan kemudahan,kenyamanan, dan efisiensi tenaga maupun meminimalisir keuangan dalam rentan waktu lama oleh pengelola industri (Raka dan Syariffudien, 2019).

Yang dapat dijumpai dalam kemajuan teknologi sekarang yakni *single link flexible joint manipulator robot* terdiri dari *link* (rangka) serta *joint* (sendi) merupakan salah satu jenis robot difungsikan pada industri yang paling dominan. Manipulator robot memiliki sifat seperti tangan manusia dengan penyebutan lain ialah lengan diartikulasikan. Apabila dibandingkan dengan lengan manusia pergerakan tangan manusia lain dari gerakan tangan robot karena gerakan tangan robot mampu bergerak bebas dikarenakan

menggunakan *rotary* yakni sebagai persendian tangan robot. Sehingga tenaga yang lumayan besar , kini hampir ringan dibandingkan pekerjaan yang sebelumnya (Rafiuddin, 2015).

Pada sistem robot modern fleksibelitas ialah kemampuan yang kurang diharapkan pada robot manipulator. Karena hal ini menyebabkan terjadinya getaran serta lendutan atau yang biasa disebut defleksi statis. Getaran atau yang biasa disebut vibrasi ialah momen gerakan bolak-balik yang terdapat pada jangkauan waktu. Vibrasi sendiri memiliki hubungan dengan gerak naik-turun gelombang atau osilasi benda serta gaya yang mempengaruhi gerak benda tersebut. Vibrasi muncul dikarenakan salah satunya oleh pengaruh dari luar. Pengaruh dari vibrasi yakni membuat tingkat akurasi menurun, desain skema kendali yang rumit, serta waktu penyelesaian lebih lama serta meningkat (Kizir dan Bingul, 2011).



**Gambar.1.** Contoh *single link flexible joint manipulator robot*.

(Sumber: Bingul dan Yolacan, 2010)

permasalahan getaran yang ada pada *single link flexible joint manipulator robot*, memicu penelitian serta pengembangan terkait sistem ini, dengan menggunakan kendali PID (Bingul dan Yolacan, 2010).



**Gambar.2.** Motor DC

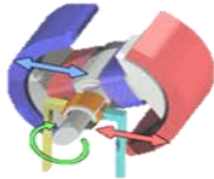
(Sumber: Anonyomous, 2017)

Motor DC ialah motor listrik dengan suplai sumber tegangan arus DC (*Direct Current*) atau yang biasa disebut arus searah ditransformasi menjadi energi mekanik pada kumparan medan. Stator dengan penyebutan kumparan medan yang tidak berputar serta rangka pada motor, serta rotor bagian motor yang berputar penyebutan pada kumparan jangkar (Anonyomous, 2017).

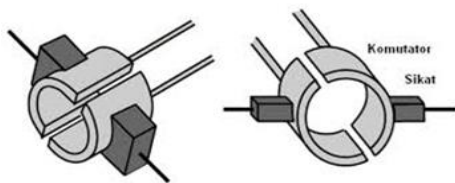
Dinamo ialah bagian berbentuk tabung pada motor DC, terhubung pada batang penggerak guna menggerakkan beban. Pada permasalahan motor DC yang kecil, terbentuknya dari kedua kutub menimbulkan perputaran dinamo dilingkup medan magnet, sampai terjadinya pergantian pada

kutub utara serta selatan magnet. Terdapat 3 komponen atau bagian utama pada motor DC (*Direct Current*) untuk dapat berputar diantaranya (Gaguk, 2012).

Kutub medan motor DC sederhana yang terkasertag hanya terdapat 2 kutub medan yaitu kutub utara serta kutub selatan (Gaguk, 2012).



Gambar.3. Kutub Motor DC (Sumber: Gaguk, 2012)



Gambar.4. Komutator Motor *Direct Current* (Sumber: Anonymous, 2016).

Commutator dalam motor DC merupakan keutamaan komponen yang didapati. Kegunaannya ialah sebagai pengiriman arus dari dinamo menuju sumber daya (Bambang, 2012).

Terdapat keluaran tambahan pada motor *Direct Current* ini yakni untuk pengatur kecepatan, yang tidak terpengaruh terhadap kualitas pasokan dayanya. Motor ini dapat diatur dengan cara mengendalikan tegangan dinamo atau arus medan (Bambang, 2012).



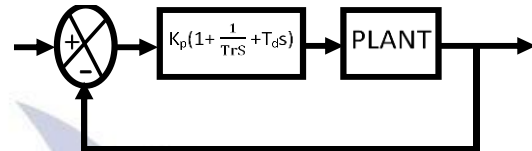
Gambar.5. Rotary Encoder (Sumber: Anonymous, 2016)

*Rotary Encoder* ialah merupakan suatu bagian elektro mekanis yang digunakan untuk memantau letak sudut pada sumbu yang berputar. Hasil yang didapatkan dari data digital *rotary encoder* berupa jarak vertikal *pulse* yang dihubungkan ke kendali dari perputarannya. Berdasarkan data yang didapat berupa besar sudut kemudian dapat diolah oleh kontroler sehingga mendapatkan data berupa arah, kecepatan, serta letak dari perputaran sumbunya (Anonymous, 2016).

Penerapan dari penggunaan rotary encoder sering ditemukan pada beberapa robot dalam hal posisi sudut diharapkannya dengan penyesuaian tinggi seperti robot Omni serta

Mechanum, sedangkan macam robot Differential Drive seperti robot beroda juga sebagai bahan pertimbangan untuk memakai *rotary encoder* sebagai pengatur gerak motor diroda kanan serta roda kiri bisa sama (Anonymous, 2016).

PID (*Proportional - Integral - Derrivative*) adalah suatu proses optimasi kendali berdasarkan tidak rumitnya skema sistem yang bisa meminimalisir tingkat kekeliruan yang dibuat oleh sistem serta efektif masih digunakan saat ini terutama pada industri (Alfa dan Syariffudien, 2018).



Gambar.6. Blok Diagram Sistem Kontrol PID (Sumber: Ogata, Katsuhiko, 2010)

**Penentuan Tolok Ukur PID Ziegler Nichlos**

Tabel.1. Penentuan Tolok Ukur PID

Type of	Kp	Ti	Td
P	0,5Kcr	$\infty$	0
PI	0,4Kcr	$\frac{Pcr}{1,2}$	0
PID	0,6Kcr	0,5Pcr	0,125Pcr

(Sumber: Alfa dan Syariffudien. 2018)

Menurut acuan reaksi transient pada sistem atau plant dengan kendali PID menentukan tolok ukur besaran ( $K_p$ ) *proportional gain*, ( $T_i$ ) *integral time*, dan ( $T_d$ ) *derivative time*. saat tahap respon metode ini menghasilkan overshoot sebesar 25%. Pemakaian tuning Ziegler Nichlos tipe 2 yakni Pita proporsional juga merupakan kebalikan dari proportional control (gain) dan pada pengontrol mikroprosesor modern atau biasa disebut dengan proportional band. Untuk menghasilkan nilai getaran yang konsisten besaran  $K_p$  dinaikkan dari 0 sampai besaran  $K_p$  tercapai (Taan, 2015).

Di tahun 1992 Bjorn D. Tyreus - William Luyben menggagas sebuah metode Tyreus-Luyben sebagai metode tuning PID controller. guna untuk penentuan keluaran Kendali *Proportional* ( $K_p$ ), *Integral Time* ( $T_i$ ), serta *Derivative Time* ( $T_d$ ) menurut karakteristik reaksi transien berdasarkan sebuah plant (Alireza Z dan Shahrokhi, Mohammad, 2012). Overshoot sebesar 25% dapat diperoleh pada metode ini terhadap step response. Dengan metode Ziegler-Nichols ini hampir sama pada metode tuningnya. Tetapi ditemukan asertaya perbedaan pada hasil perhitungan tolok ukur PID. Penggunaan Metode ini guna meminimalisir reaksi vibrasi pada sistem serta menimbulkan reaksi gangguan yang lebih baik (Tokhi dan Alam, 2007)

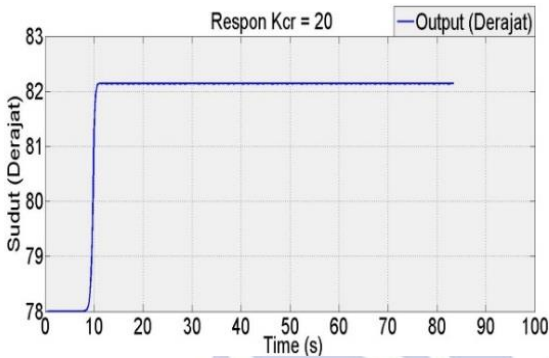


**Penentuan Tolok Ukur PID Tyreus – Luyben**

**Tabel.2.** Penentuan Tolok Ukur tuning Tyreus-Luyben

Type of Controller	Kp	Ti	Td
PI	$0.45K_{cr}$	$2.2P_{cr}$	0
PID	$0.313K_{cr}$	$2.2P_{cr}$	$0,16P_{cr}$

(Sumber: Raka dan Syariffudien. 2019)



**Gambar.7.** Reaksi Percobaan Sistem dengan keluaran Kp ialah 20 (Sumber: Raka dan Syariffudien. 2019)

Tolok ukur keluaran PID diperoleh melalui keluaran Kp dinaikkan sampai mendapatkan tanggapan sistem yang berkelanjutan. Percobaan demi memperoleh hasil reaksi vibrasi secara kontinu pada Kp ialah 20, dapat diperhatikan pada Gambar 7 berikut. Menurut keluaran reaksi tersebut keluaran Kp sebesar 20 bisa kita ketahui bahwa ketika respon terjadi vibrasi yang berkelanjutan. Sehingga penggunaan keluaran Kcr untuk menentukan tolak ukur PID yaitu 20. Keluaran tersebut diasumsikan sebagai penentuan keluaran kendali yang sesuai. (Raka dan Syariffudien, 2019)

Pada langkah ini, keluaran Pcr juga di gunakan pada penentuan keluaran kontroler guna mendapatkan hasil yang sesuai, keluaran berdasarkan pengendali integral serta derivative juga diperlukan guna memperoleh hasil keluaran Pcr. Keluaran Pcr merupakan *Delay Time* puncak vibrasi. Puncak vibrasi dari reaksi ialah 82,82. Sehingga tercapainya keluaran Pcr ketika *Peak Time* vibrasi ialah 1.35s. (Raka dan Syariffudien, 2019).

**HASIL SERTA PEMBAHASAN**

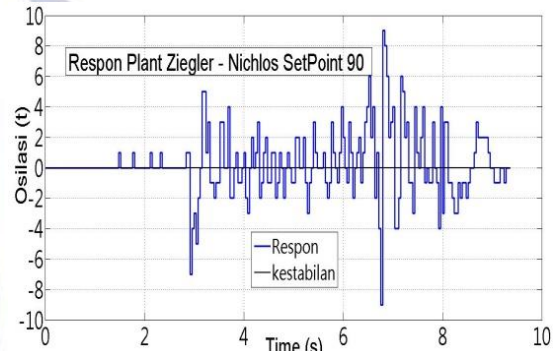
Berdasarkan hasil penelitian1). Rancang bangun pengendalian vibrasi pada *single link flexible joint manipulator robot* berbasis PID controller yang dilakukan oleh Yosin Alfa Syahroni Lutfianam pada tahun 2018. 2). perancangan kontroler PID Tyreus-Luyben untuk kendali vibrasi pada robot *single link flexible joint manipulator* yang

dilakukan oleh Wahyu Raka Adzani, pada tahun 2019.

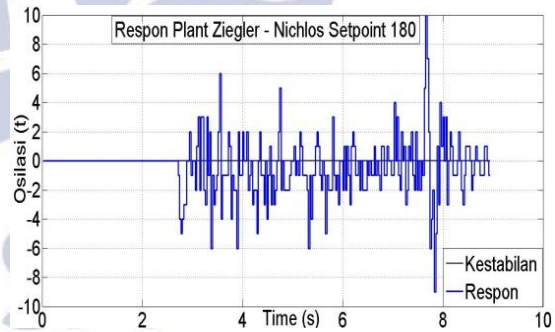
**Penerapan Analisis Reaksi Plant PID Ziegler Nichols**

Berdasarkan tolak ukur PID dengan Ziegler-Nichols tipe 2 pada Tabel.1 yang dihitung maka diperoleh keluaran Kp ialah 162, Ki ialah 334, serta Kd ialah 19,44 dapat dilihat pada Tabel 3.

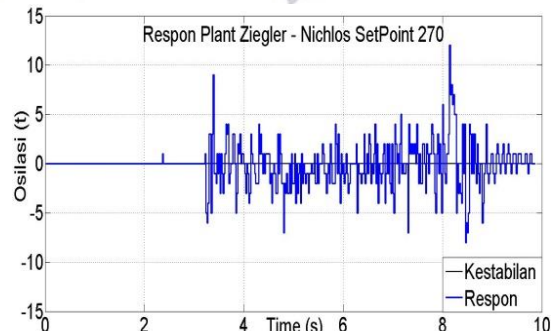
Kemudian baik keluaran Kp, Ki serta Kd diinputkan pada program arduino guna di implementasikan pada *plant system* dengan 3 buah jumlah set-point yang berbeda yakni 90°, 180°, serta 270° hasil tanggapan pengurangan vibrasi ujung lengan diperoleh hasil seperti yang ditampilkan pada gambar 8,9, serta 10 dibawah ini (Alfa dan Syariffudien, 2018)



**Gambar.8.** Tanggapan Plant Set-Point 90° PID Ziegler Nichols. (Sumber: Alfa dan Syariffudien. 2018)



**Gambar 9.** Tanggapan Plant Set-Point 180° PID Ziegler Nichols. (Sumber: Alfa dan Syariffudien. 2018)



**Gambar 10.** Tanggapan Plant Set-Point 270° PID Ziegler Nichols. (Sumber: Alfa dan Syariffudien. 2018)

**Analisis Reaksi Plant Menggunakan PID**

**Tabel 3.** Tolok Ukur Ziegler – Nichlos

Type of	Kp	Ti	Td
P	135	$\infty$	0
PI	121,5	0,81	0
PID	162	334	19,44

(Sumber: Alfa dan Syariffudien. 2018)

Berdasarkan grafik respon diatas dari penerapan pada *plant system* yang diinputkan pada program arduino didapatkan hasil karakteristik *setting time*(Ts) , *rise time*(Tr), serta *delay time*(Td). Dengan perbedaan tanggapan ke 3 set-point diatas pada set-point 180° menyebabkan terjadinya vibrasi lebih kecil dibandingkan dengan set-point 90° serta 270° dapat disaksikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Karakteristik Reaksi Menggunakan Ziegler – Nichlos

Variabel	Set Point		
	90°	180°	270°
Ts	3,1 s	3,07 s	3,85 s
Tr	1,375 s	1,35 s	1,25 s
Td	0,43 s	0,426 s	0,39 s

(Sumber: Alfa dan Syariffudien. 2018)

**Analisis Reaksi Plant Menggunakan Tuning Tyreus – Luyben**

Berdasarkan grafik reaksi diatas dari penerapan pada *plant system* yang diinputkan pada program arduino didapatkan hasil karakteristik *setting time*(Ts) , *rise time*(Tr), serta *delay time*(Td) dengan kontrol PID Tyreus - Luyben. Dengan perbedaan tanggapan ke 3 set-point diatas pada set-point 90° menyebabkan terjadinya vibrasi lebih kecil dibandingkan dengan set-point 180° serta 270° dapat disaksikan pada Tabel 5.

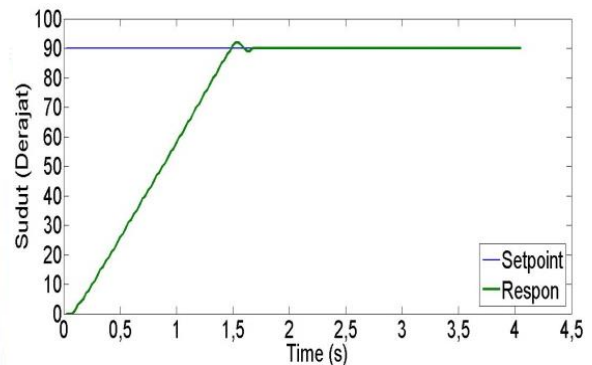
**Tabel 5.** Karakteristik Reaksi Menggunakan PID Tyreus – Luyben

Variabel	Set Point		
	90°	180°	270°
Ts	1,748 s	3,22 s	4,5 s
Tr	2,212 s	4,086 s	6,025 s
Td	0,697 s	1,289 s	1,901 s

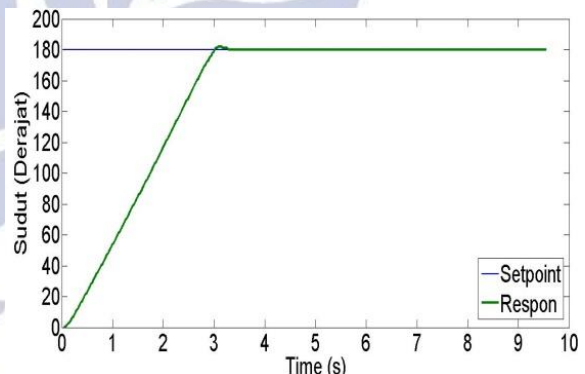
(Sumber: Raka dan Syariffudien. 2019)

**Penerapan PID serta Analisis Reaksi Plant Tyreus - Luyben**

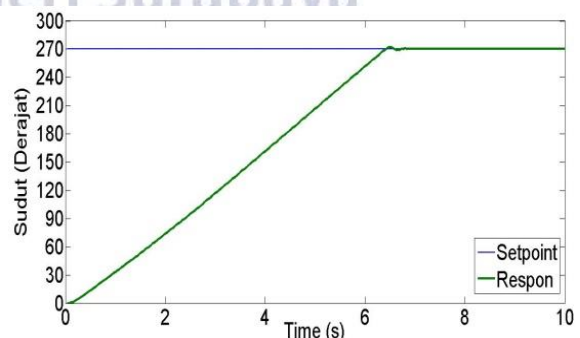
Berdasarkan tolok ukur PID Tyreus-Luyben pada Tabel.2 yang dihitung maka diperoleh keluaran Kp ialah 6.26, Ki ialah 0.3367, serta Kd ialah 0.216. Kemudian baik keluaran Kp, Ki serta Kd diinputkan pada program arduino guna di implementasikan pada *plant system* dengan 3 buah jumlah set-point yang berbeda yakni 90°, 180°, serta 270° hasil tanggapan pengurangan vibrasi ujung lengan diperoleh hasil seperti yang ditampilkan pada gambar 11,12, serta 13 dibawah ini.



**Gambar 11.** Tanggapan Plant Set-Point 90° PID Tyreus-Luyben Controller (Sumber: Raka dan Syariffudien. 2019)



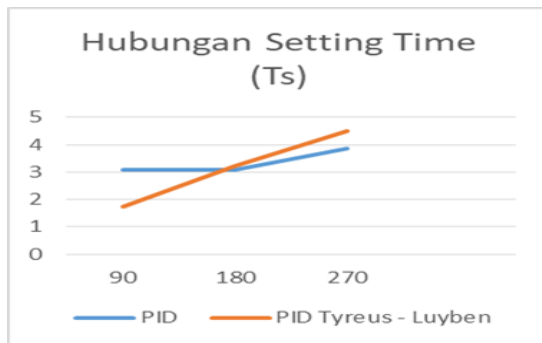
**Gambar 12.** Tanggapan Plant Set-Point 180° PID Tyreus-Luyben Controller (Sumber: Raka dan Syariffudien. 2019)



**Gambar 13.** Tanggapan Plant Set-Point 270° PID Tyreus-Luyben Controller (Sumber: Raka dan Syariffudien. 2019)

### Analisis Reaksi $T_s$ Tuning Ziegler Nichlos dengan Tyreus – Luyben

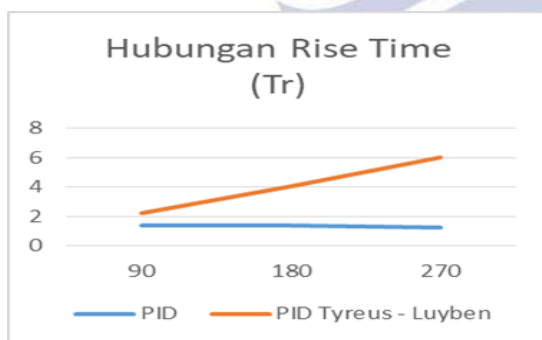
Berdasarkan hasil reaksi *setting time* ( $T_s$ ) plant system dapat disaksikan pada gambar 14 yang diperoleh dari penerapan baik kendali PID dengan keluaran pada  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , serta  $270^\circ$  sebesar 3,1 s, maupun PID Tyreus –Luyben sebesar 1,748 s, yang telah diinputkan pada program arduino terhadap vibrasi *single link flexible joint manipulator robot*.



**Gambar 14.** Hubungan Reaksi  $T_s$  (Sumber: Dokumen Pribadi. 2020)

### Analisis Reaksi $T_r$ Tuning Ziegler Nichlos dengan Tyreus – Luyben

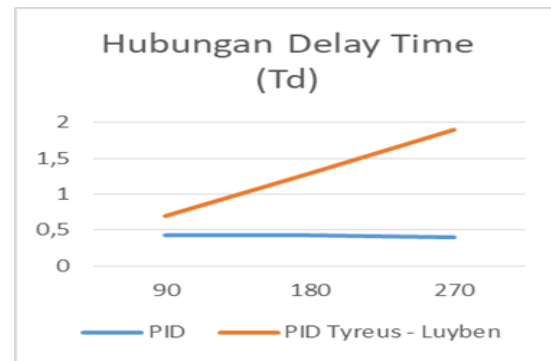
Berdasarkan hasil reaksi *rise time* ( $T_r$ ) plant system yang diperoleh dari penerapan baik kendali PID dengan keluaran pada  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , serta  $270^\circ$  sebesar 1,35 s maupun PID Tyreus –Luyben sebesar 4,0868 s yang telah diinputkan pada program arduino terhadap vibrasi *single link flexible joint manipulator robot*, dapat disaksikan pada Gambar 15.



**Gambar.15.** Hubungan Reaksi  $T_r$  (Sumber: Dokumen Pribadi. 2020)

### Analisis Reaksi $T_d$ Tuning Ziegler Nichlos dengan Tyreus – Luyben

Berdasarkan hasil reaksi *delay time* ( $T_d$ ) plant system yang diperoleh dari penerapan baik kendali PID dengan keluaran pada  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , serta  $270^\circ$  sebesar 0,39 s maupun PID Tyreus –Luyben sebesar 1,9010 s yang telah diinputkan pada program arduino terhadap vibrasi *single link flexible joint manipulator robot*, dapat disaksikan pada Gambar 16.



**Gambar.16.** Hubungan Reaksi  $T_d$  (Sumber: Dokumen Pribadi. 2020)

## PENUTUP

### SIMPULAN

Berdasarkan data analisa hasil serta pembahasan diatas terdapat beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

Pada kendali PID dengan keluaran  $K_p$  ialah 162,  $K_i$  ialah 334, serta  $K_d$  ialah 19,44. Sedangkan, pada kendali PID Tyreus – Luyben dengan keluaran  $K_p$  ialah 6.26,  $K_i$  ialah 0.3367, serta  $K_d$  ialah 0.216. didapati perbedaan yang dirasa efisien pada kendali Tyreus–Luyben. Keluaran karakteristik  $T_s$ ,  $T_r$ , serta  $T_d$  pada  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , serta  $270^\circ$  dengan *setting time* PID sebesar 3,1 s, 3,07 s, serta 3,85 s maupun PID Tyreus –Luyben sebesar 1,748 s, 3,22 s, serta 4,5 s. *Rise time* PID sebesar 1,375 s, 1,35 s, serta 1,25 s maupun PID Tyreus –Luyben sebesar 2,212 s, 4,0868 s, serta 6,0259 s. *Delay time* PID sebesar 0,43 s, 0,426 s, serta 0,39 s maupun PID Tyreus –Luyben sebesar 0,697 s, 1,2893 s, serta 1,9010 s. sehingga reaksi waktu getaran tuning Ziegler Nichlos terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tuning Tyreus – Luyben..

### SARAN

Hasil keluaran tolok ukur dari reaksi PID dirasa sudah cukup. Sehingga, saran yang dapat di berikan penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu penggunaan metode optimasi mencari keluaran  $K_p$ ,  $K_i$ , serta  $K_d$  menggunakan metode optimasi (CHR) Chien Hrones Reswick untuk mendapatkan keluaran karakteristik reaksi yang lebih rendah.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. (2017). *Motor dc serta jenis-jenisnya.*(Online).(https://studentactivity.binu.s.ac.id/himtek/2017/05/08/motordcsertajenis-jenisnya/. Diakses pada 24 Juni 2020).
- Anonymous. (2016). *Pengertian rotary encoder.* (Online).(https://karyainovasi.blogspot.com/2016/02/pengertian-rotaryencoder.html. Diakses pada 24 Juni 2020.)



- Alfa Syahroni L, Yosin serta M. Syariffudien Zuhrie. 2018. *Rancang bangun pengendalian vibrasi pada single link flexible joint manipulator robot berbasis pid controller*. Jurnal Teknik Elektro. Vol 07, No 03, PP 183-190.
- Bambang, Siswoyo. (2012). *Motor dc model statespace*. (Online). (<http://bsiswoyo.lecture.uib.ac.id/201/01/motor-dc-model-state-space/>). Diakses pada tanggal 24 Juni 2020).
- Bingul, Zafer. Yolacan, Ersin. (2010). *Pid and state feedback control of a single-link flexible joint robot manipulator*. Department of Mechatronics Engineering Kocaeli University, Kocaeli, TURKEY.
- Dwivedy, S.K., & Eberhard, P. (2006). *Dynamic analysis of flexible manipulators, a literature review*. *Mechanism and Machine Theory*, No: 41, PP 749 - 777.
- Gagak. (2012). *Driverh - bridge motor dc*. (Online). (<http://wongsablenglab.blogspot.co.id/2012/02/driverhbridgemotordc.html>). Diakses pada tanggal 24 Juni 2020).
- Kizir, Selcuk. Bingul, Zafer. (2011). *Cascade fuzzy logic control of a single link flexible joint manipulator*. Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Kocaeli University, Umuttepe 41380, Kocaeli - TURKE. *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, Vol.20, No.5, 2012.
- M Abdullahi, Auwalu. (2014). *Resonant control of a single-link flexible manipulator*. *Jurnal Teknologi (Science & Engineering)*. Vol. 67, No:5, PP 35-39.
- Mahmood, Bhikaji. Zaharuddin, Mohamed. (2008). *Precise tip positioning of a flexible manipulator using resonant control*. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. Vol 13, No 02, PP 180–186.
- Ogata, Katsuhiko. (2010). *Modern control engineering fifth edition*. Pearson Education, Inc. USA.
- Raka Adzani, Wahyu serta M. Syariffudien Zuhrie. (2019). *Perancangan kontroler pid tyreus-luyben untuk kendali vibrasi pada robot single link flexible joint manipulator*. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 8, No:3, PP 523-530.
- S1 Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa 2014 serta 2015. 2017. *Single link fleksible manipulator*. S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. laporan akhir mata kuliah sistem kontrol optimal.
- Taan,Ahmad. (2015). *Pid controller tuning*. (Online). (<https://www.slideshare.net/AhmadTaan/pid-controller-tuning49463158>). diakses pada tanggal 24 Juni 2020).
- Tokhi, M, serta Alam, M.S. (2007). *Dynamic modelling of a single-link flexible manipulator system: a particle swarm optimisation approach*. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, No:26, PP57-72.