

PENGENDALIAN VIBRASI PADA *SINGLE LINK FLEXIBLE MANIPULATOR* MENGGUNAKAN SIMULASI MATLAB PID *COHEN-COON*

Puja Awwalia Rohmah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : pujarohmah16050874031@mhs.unesa.ac.id

Muhammad Syarifuddin Zuhrie, Bambang Suprianto, I Gusti Putut Asto B.

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

Abstrak

Penggunaan *arm robot* pada dunia industri sekarang ini sangatlah penting, apalagi dengan semakin berkembangnya teknologi dan juga kebutuhan industri yang lebih memilih menggunakan tenaga robot yang bisa bekerja secara otomatis. Salah satu bentuk robot lengan yang paling dibutuhkan dalam industri saat ini adalah *Single Link Flexible Manipulator robot*. Robot *Single Link Flexible Manipulator* yaitu sebuah robot lengan yang sistemnya terdiri dari sendi (*joint*) dan lengan (*link*), yang berfungsi sebagai bentuk pergerakan pada robot. Lengan robot (*link*) ini sangat penting fungsinya dikarenakan sebuah lengan robot harus bergerak secara stabil, agar dapat menghasilkan kinerja yang maksimal. Namun, disamping itu robot *Single Link Flexible Manipulator* juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya adalah lengan robot yang masih memiliki getaran (*vibration*) yang tinggi dan berpotensi menghambat hasil kinerja robot tersebut. Selain itu, pergerakan lengan robot yang lambat juga dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi kinerja pada robot dan akan berakibat pada pemenuhan jumlah produksi. Untuk memperbaiki kekurangan tersebut, maka dapat diterapkan sebuah kontroler untuk mengendalikan pergerakan lengan robot dan juga memperbaiki serta mengurangi getaran atau vibrasi tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengendalikan *vibration* atau getaran serta mempercepat respon pada lengan robot *Single Link Flexible Manipulator* menggunakan kendali PID dengan metode tuning *Cohen-Coon*. Dari penelitian ini telah didapatkan nilai parameter-parameter PI, yaitu nilai $K_P=54.592$ dan $K_I=0.04201$. Selanjutnya setelah menerapkan nilai-nilai tersebut ke dalam simulasi, didapatkan respon sistem yang baik pada set point 90° dengan nilai *rise time* selama 1.34s, *settling time* selama 4.46s, *peak time* selama 1.12s, dan mencapai maksimal overshoot sebesar 11.6%.

Kata kunci: *Single Link Flexible Manipulator Robot*, Vibrasi, PID *Cohen-Coon*

Abstract

The use of robot arms in the industrial world lately is very important, especially with the improvement of technology and the industry's needs that prefer to use robot power that can work automatically. Robot arm that most needed in the industry lately is the *Single Link Flexible Manipulator robot*. Robot *Single Link Flexible Manipulator* is a robot arm whose system consists of joints and arms that function as a form of movement of the robot. The robot arm (*link*) function is very important because a robot arm must move stably, so that it can produce maximum performance. However, besides that the *Single Link Flexible Manipulator robot* also has several shortcomings, including the robot arm that still has high vibrations and has the potential to hamper the robot's performance results. In addition, the slow movement of the robot arm can also lead to reduce performance efficiency in the robot and will affect the fulfillment of production quantities. To correct these deficiencies, controller can be applied to control the movement of the robot arm and also improve and reduce the vibration. The purpose of this study is to control vibration or accelerate the response in the robot arm *Single Link Flexible Manipulator* using PID control with the *Cohen-Coon* tuning method. From this study, the values of PI parameters have been obtained, namely the value of $K_P = 54,592$ and $K_I = 0.04201$. Furthermore, after applying these values to the simulation, a good system response is obtained at a set point of 90° with a rise time value of 1.34s, settling time of 4.46s, peak time during 1.12s, and maximal overshoot of 11.6%.

Keywords: *Single Link Flexible Manipulator Robot*, Vibration, PID *Cohen-Coon*

PENDAHULUAN

Di era globalisasi ini, terdapat banyak sekali kegiatan manusia yang sudah tergantikan teknologi modern, khususnya dalam bidang industri. Dalam bidang industri di Indonesia sendiri, masih banyak sekali ditemukan alat-alat produksi yang memerlukan operator manusia (Yavuz S, 2016). Dengan pertimbangan kualitas dan juga efisiensi dalam proses produksi, maka dibutuhkan alat-alat yang dapat dikendalikan secara otomatis dan bisa menggantikan tugas operator, salah satunya yaitu dengan menggunakan ROBOT (Residents Official Board of Technology) (Deif. S, 2011).

Jenis robot sendiri ada bermacam-macam. Jenis robot yang sering dimanfaatkan untuk membantu jalannya proses industri diantaranya yaitu *arm robot* atau robot lengan (Mittal, A., dkk. 2017). Robot lengan atau yang juga disebut sebagai robot manipulator merupakan sebuah rangkaian sistem yang terdiri dari sendi (*joint*) dan lengan (*link*) yang berfungsi sebagai bentuk pergerakan dari robot (Zain, B. A. M., dkk. 2009). Satu di antara berbagai jenis robot manipulator yang sering dimanfaatkan dalam bidang industri yaitu robot *single link flexible manipulator* (Rafiuddin S, 2015).

Kelebihan robot *single link flexible manipulator* diantaranya adalah memiliki bentuk actuator yang minimalis, membutuhkan pemakaian daya yang minim, dan memiliki nilai pembuatan yang terjangkau, sehingga banyak sekali perusahaan yang berfokus dalam dunia industri yang menggunakan teknologi ini (Abdullahi, Auwalu M, 2014).

Namun, disamping kelebihan yang dimilikinya robot *single link flexible manipulator* juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya adalah lengan robot yang masih memiliki getaran (*vibration*) yang tinggi dan dapat mengganggu hasil kinerja robot tersebut (Alam, M.S. 2008). Selain itu, pergerakan lengan robot yang lambat juga dapat menyebabkan banyak permasalahan (Endo T, 2014). Oleh sebab itu dilakukanlah penelitian dengan *literature review* atau studi literatur yang melibatkan penelitian secara singkat dan mendalam mengenai kontroler dan juga *plant* yang digunakan dari setiap artikel atau jurnal tersebut.

Pencarian artikel dilakukan dengan menetapkan kriteria dengan tiga kata kunci yaitu *single link flexible manipulator*, kontroler PID Cohen-Coon, dan *vibration*. Setelah dilakukan penentuan kriteria ini telah didapatkan kurang lebih 40 artikel atau jurnal dengan rentang tahun 2000-2019. Dapat ditemukan beberapa artikel yang menggunakan berbagai jenis kontroler, namun hanya ditemukan satu artikel yang menggunakan kontroler PID dengan metode tuning yang sama

dengan penelitian ini yaitu tuning *Cohen-Coon*. Beberapa diantaranya menggunakan kontroler PID namun dengan metode tuning yang berbeda, yakni Tyreus-Luyben, Ziegler-Nichols, dan lain sebagainya.

Dapat dilihat pada artikel pertama dari penelitian terdahulu yang dikerjakan oleh Yosin Alfa Syahroni tahun 2018 dengan judul “Rancang Bangun Pengendalian Vibrasi Pada *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot* Berbasis *PID Controller*“, kontroler yang digunakan yaitu PID dengan metode tuning Ziegler-Nichols yang diterapkan dalam mencari nilai variabel-variabel bersumber pada karakteristik respon transien *plant* yang digunakan pada penelitian ini, penulis memberikan saran untuk melakukan pendalaman materi dan menggunakan metode kontrol lain yang mendekati *plant*. Dalam penelitian ini, *plant* memanfaatkan bahan yang tidak kaku atau *rigid* untuk membuat fleksibilitas atau vibrasi pada ujung lengan robot tampak lebih jelas (Lutfianam, 2018).

Sedangkan pada artikel kedua yaitu pada penelitian terbaru yang telah dilaksanakan oleh Wahyu Raka Adzani pada tahun 2019 dengan judul “Perancangan Kontroler PID Tyreus-Luyben Untuk Kendali Vibrasi Pada Robot *Single Link Flexible Joint Manipulator*“, penulis menggunakan kontroler yang sama yakni kontroler PID namun dengan metode tuning yang berbeda yakni Tyreus-Luyben. Dalam penelitian tersebut telah disimpulkan bahwa untuk mendapatkan respon sistem yang lebih baik dalam upaya memperbaiki permasalahan *flexibility* pada robot *single link flexible joint manipulator* adalah dengan mengganti *plant* yang sebelumnya lentur menjadi keras agar lengan dapat bergerak dengan stabil. Namun hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa respon sistem masih lambat, sehingga dapat mempengaruhi gerak lengan robot serta berpotensi memperbesar getaran yang dihasilkan pada ujung lengan robot (Adzani, 2019).

Sehingga pada penelitian kali ini, akan dilakukan penelitian dengan metode dan *plant* yang berbeda dengan harapan mendapatkan hasil respon yang lebih baik. Tujuan penelitian kali ini yaitu untuk memperbaiki permasalahan *flexibility* dan meminimalkan getaran yang timbul saat *single link flexible manipulator robot* bekerja, serta untuk memperoleh hasil reaksi sistem yang lebih baik dengan menggunakan kendali PID dan metode tuning *Cohen-Coon* pada sistemnya.

Single Link Flexible Manipulator

Single link flexible manipulator yaitu salah satu kategori robot manipulator yang memiliki bentuk seperti lengan manusia yang terdiri dari sendi atau *joint* dan komponen yang berfungsi sebagai lengan

(link) (Rahman, 2019). Robot *single link flexible manipulator* ini memiliki *input* tunggal berupa torsi motor, serta besar sudut dan defleksi pada ujungnya sebagai *output* (Mohamed & Tokhi, 2002). Sistem dari robot ini adalah suatu jenis robot industri yang sering dikaitkan dengan getaran yang tinggi dan defleksi pada ujungnya dikarenakan gerakan badan robot yang terkadang kaku dan terkadang elastis selama robot bekerja (Ahmad, 2013).

Proportional Integral Derivative Kontrol (PID)

Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan satu di antara berbagai jenis kontroler yang sudah sering sekali dimanfaatkan dalam pengaplikasian dunia industri karena berstruktur sederhana (Djalal, 2015).

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

Keterangan:

- u(t) = Sinyal *output* kontroler
- K_p = *Proportional gain*
- T_i = Waktu integral
- e(t) = Sinyal eror yang dihasilkan

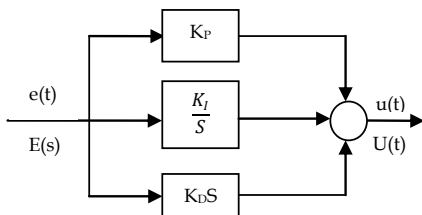
Sebagaimana dijelaskan pada keterangan di atas, u(t) dan e(t) menunjukkan kontrol dan sinyal eror, sedangkan K_p sebagai koefisien proporsional, T_i sebagai integral waktu konstan dan T_d sebagai diferensial waktu konstan (Unarya, 2019). Sehingga dapat disimpulkan bahwa bentuk transfer fungsi yang sesuai ditunjukkan sebagai berikut:

$$K(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i(s)} + T_d(s) \right] \quad (2)$$

Keterangan:

- K(s) = *Output* kontroler
- T_d = Diferensial waktu konstan

PID *controller* lebih sering digunakan untuk menyesuaikan gain proporsional (K_p) yang tepat, gain integral (K_i), dan gain diferensial (K_d) untuk mencapai kinerja kontrol yang optimal. Diagram blok sistem pengendali PID dalam penelitian ini dijelaskan oleh Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram Blok Kontrol PID (Sumber: Meshram, 2012)

Bentuk transfer fungsi juga dapat dinyatakan dalam persamaan Laplace sebagai berikut:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (3)$$

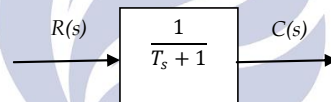
Keterangan:

- U(s) = Sinyal *output* kontroler (bentuk laplace)
- E(s) = Sinyal eror (bentuk laplace)
- K_i = konstanta integral yang dapat disesuaikan
- K_d = Konstanta diferensial yang dapat disesuaikan

Kelebihan dari kontroler PID adalah kemampuannya untuk menghilangkan eror *steady-state* pada respon sistem terhadap sinyal *step* yang dikarenakan penghitungan integral, dan juga kemampuan untuk mengantisipasi perubahan *output* ketika ada perhitungan turunan atau *derivative* (Meshram, 2012).

Karakteristik Respon Orde Pertama

Diagram blok sistem orde pertama ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Orde Pertama (Sumber: Ogata, 2010)

Sehingga, fungsi alih sistem orde pertama dapat dituliskan seperti pada persamaan 4 berikut ini.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau_s + 1} \quad (4)$$

Keterangan:

- C(s) = Keluaran Sistem
- R(s) = Masukan Sistem
- K = *Gain Overall*
- τ_s = Konstanta durasi waktu

Dalam menentukan nilai *Gain Overall* maka rumus keterkaitan antara Y_{ss} dan X_{ss} dapat dijelaskan dalam persamaan 5 berikut.

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (5)$$

Keterangan:

- X_{ss} = *Set point*
- Y_{ss} = Hasil respon

Sedangkan, dalam mencari nilai Tau (τ) bisa diestimasi dengan menentukan respon *outputsistem* saat mendekati 63.2% nilai hasil akhirnya, dijelaskan seperti pada persamaan 6 berikut ini.

$$C(\tau) = 63.2\% \times Y_{ss} \tag{6}$$

Keterangan:

$C(\tau)$ = Output sistem saat 63.2% dari hasil akhir

Satu hal yang terpenting dari karakteristik sebuah kurva respon eksponensial $C(t)$ terletak pada nilai $t = T$, dimana nilai dari $C(t)$ adalah 0.632 atau respon dari $C(t)$ telah mendekati 63.2% dari total semua perubahannya (Ogata, 2010). Persamaan tersebut mungkin dapat lebih mudah dipahami dengan mensubstitusikan $t = T$ dengan $c(t)$ dalam perhitungan transformasi laplace terbalik seperti ditunjukkan pada persamaan 7 berikut.

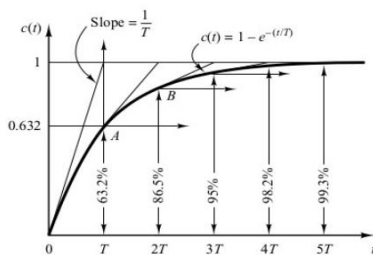
$$c(t) = 1 - e^{-1} = 0.632 \tag{7}$$

Keterangan:

$c(t)$ = Output sistem (bentuk laplace)

e = Error sistem

Perlu dicatat bahwa semakin kecil nilai waktu konstan T , semakin cepat pula respon sistem yang dihasilkan. Respon sistem orde pertama atas *input* unit step lebih detailnya dijelaskan oleh gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Kurva Respon Sistem Orde Pertama Terhadap Input Unit Step (Sumber: Ogata, 2010)

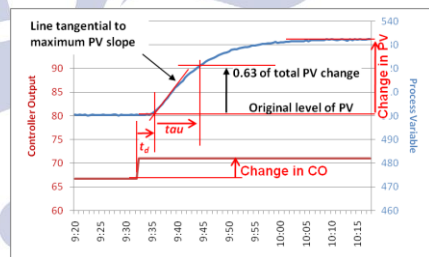
Respon transien pada sistem kontrol praktis kerap memperlihatkan osilasi yang terhalang sebelum meraih kestabilan. Untuk menentukan karakteristik respon transien dari sebuah sistem kontrol ke *input* unit step diperlukan perhitungan beberapa variabel berikut ini.

1. Waktu tunda/*delay time* (t_d), yaitu waktu yang dibutuhkan respon dalam usahanya mencapai setengah dari nilai akhir pertama kalinya.
2. Waktu naik/*rise time* (t_r), yaitu waktu yang dibutuhkan respon untuk naik dari 10% ke 90%, 5% ke 95%, atau 0% ke 100% dari nilai akhirnya.

3. Waktu puncak/*peak time* (t_p), yaitu waktu yang dibutuhkan respon dalam usahanya mencapai puncak pertama dari *overshoot*.
4. Waktu penyelesaian/*settling time* (t_s), yaitu waktu yang dibutuhkan kurva respon dalam usahanya mencapai dan menetap dalam jangkauan nilai akhir dari ukuran yang ditentukan oleh persentase total dari nilai akhir (umumnya 2% atau 5%).
5. *Maximum overshoot* (M_p), yaitu nilai puncak maksimum dari kurva hasil respon yang diukur dari keseluruhan. Biasanya dalam bentuk persen (%).

Metode Tuning Cohen-Coon

Metode tuning *Cohen-Coon* adalah sebuah metode tuning PID yang sangat cocok untuk berbagai proses dengan cakupan yang lebih luas daripada metode *Ziegler-Nichols* (Faradisa, Sayyuda. 2020). Metode tuning *Ziegler-Nichols* hanya berfungsi dengan baik pada proses dimana waktu mati (*dead time*) kurang dari setengah panjang waktu konstan. Sedangkan, metode *tuning rules Cohen-Coon* bekerja dengan baik pada proses di mana waktu mati kurang dari dua kali panjang waktu konstan (Opti Control, 2011). Seperti dijelaskan pada gambar 4, *step test* digunakan untuk mencari nilai g_p , tau, dan t_d yang nantinya berfungsi untuk mencari nilai parameter PID dengan aturan tuning *Cohen-Coon*.



Gambar 4. Step Test Untuk Proses Tuning (Sumber: Opti Control, 2011)

Metode tuning *Cohen-Coon* melibatkan dua langkah perhitungan, yaitu pertama setelah respon orde satu pada sistem sudah didapatkan lalu mencari nilai tau, t_d , dan g_p dengan *step test* yang ditunjukkan pada gambar 4. Lalu langkah kedua yaitu mencari nilai PID dengan rumus aturan tuning *Cohen-Coon* ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Aturan Tuning *Cohen-Coon*

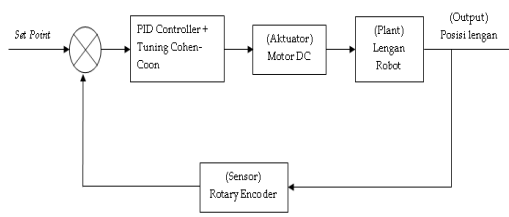
	Controller Gain	Integral Time	Derivative Time
P Controller:	$K_c = \frac{1.03}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.34 \right)$		
PI Controller:	$K_c = \frac{0.9}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.092 \right)$	$T_i = 3.33 t_d \frac{\tau + 0.092 t_d}{\tau + 2.22 t_d}$	
PD Controller:	$K_c = \frac{1.24}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.129 \right)$		$T_d = 0.27 t_d \frac{\tau - 0.324 t_d}{\tau + 0.129 t_d}$
PID Controller: (Noninteracting)	$K_c = \frac{1.35}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.185 \right)$	$T_i = 2.5 t_d \frac{\tau + 0.185 t_d}{\tau + 0.61 t_d}$	$T_d = 0.37 t_d \frac{\tau}{\tau + 0.185 t_d}$

(Sumber: Opti Control, 2011)

Pada rumus aturan tuning *Cohen-Coon* telah dijelaskan bentuk-bentuk kontroler apa saja yang akan digunakan, diantaranya P, PI, PD, dan PID. Karena pada penelitian ini menggunakan PID dengan metode tuning *Cohen-Coon* maka akan digunakan rumus aturan tuning dengan kontroler PI.

Desain sistem

Pada sistem yang akan dibahas dalam penelitian kali ini terdiri dari *input* atau masukan, kontroler, aktuator, *plant* yang akan dikontrol, sensor, dan *output* atau keluaran.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem *Single Link Flexible Manipulator*

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 dapat dilihat bahwa metode kontrol yang digunakan adalah kontroler PID dengan metode tuning *Cohen-Coon* dengan nilai masukan atau *setpoint* yang masuk adalah berupa tegangan. Berikutnya adalah aktuator berupa Motor DC beserta *Motor Drive* yang berfungsi untuk menggerakkan perputaran lengan robot. Selanjutnya ada *plant* yaitu bagian yang akan dikontrol dengan kontroler yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, *plant* yang digunakan adalah lengan robot yang akan bergerak setelah menerima masukan dari sensor *rotary encoder*.

Nilai dari pembacaan sensor oleh *rotary encoder* tersebut akan diproses oleh Arduino Mega 2560 dan di dalamnya sudah terdapat kontroler PID. Kontroler PID bekerja sebagai pengolah data bacaan dari *rotary encoder* tersebut menjadi data output yang diinginkan penulis sesuai dengan *setpoint*.

PEMBAHASAN

Dalam penjabaran mengenai pembahasan kali ini akan dijelaskan secara singkat beberapa artikel dengan *plant* dan kontroler yang kurang lebih dapat mendukung penelitian ini beserta proses simulasi sistem dengan menerapkan kontroler PID *Cohen-Coon*.

Setelah dilakukan pencarian literatur sesuai dengan robot yang digunakan, kontroler, dan juga *plant* yang dikontrol yaitu vibrasi, terdapat banyak sekali literatur yang menggunakan robot yang sama namun dengan kontroler yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Alandoli, 2017), peneliti menggunakan dua kontroler sebagai perbandingan yaitu kontroler PID dengan tuning Ziegler-Nichols sama seperti penelitian yang dilakukan oleh (Lutfianam, 2018). Dapat dilihat pada respon sistem yang menunjukkan bahwa *output* respon dengan kontroler PID adalah lebih baik dibandingkan dengan kontroler LQR. Sehingga memperkuat keinginan penulis untuk menggunakan kontroler PID namun dengan metode tuning yang berbeda, yaitu metode tuning *Cohen-Coon*.

Proses Simulasi Dengan Kontroler PID *Cohen-Coon*

Hal pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan simulasi adalah dengan menyusun model matematis dari sistem. Model matematis untuk *plant* dihasilkan dari menggunakan persamaan fungsi transfer dari jurnal-jurnal sebelumnya yang berkaitan dengan robot *single link flexible manipulator* (Mahto, S, 2014).

Pada proses simulasi ini digunakan persamaan transfer fungsi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu (Adzani, 2019) dengan nilai $K=0.5778$ dan nilai $C(\tau)=1.028$. Sehingga berdasarkan pada persamaan (4) dapat disimpulkan bahwa bentuk persamaan transfer fungsinya adalah

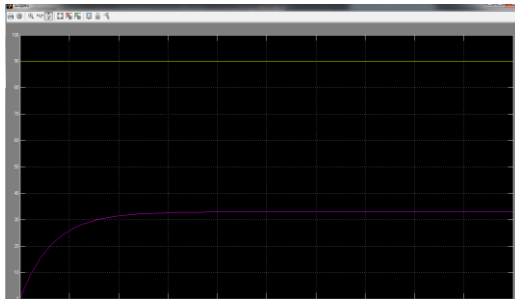
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{0.5778}{1.028s+1}$$

Setelah mendapatkan persamaan transfer fungsi dari *plant*, langkah selanjutnya yaitu membuat simulasi berupa blok sistem *open loop* untuk mengetahui grafik hasil sistemnya. Dijelaskan dalam gambar 6, yaitu sebuah *block diagram* pada sistem *open loop* yang disusun menggunakan *Simulink* pada aplikasi MATLAB 2014.



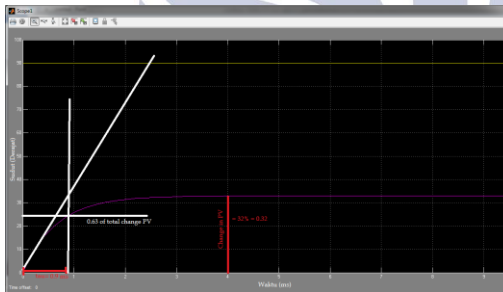
Gambar 6. Diagram Blok Simulasi *Open Loop* (Sumber: Data Primer, 2020)

Selanjutnya grafik hasil respon sistem dengan *set point* 90° dapat dilihat pada blok *Scope 1*, dijelaskan oleh gambar 7 sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Hasil Respon Sistem Tanpa Kontroler (*Open Loop*)

Setelah mendapatkan hasil respon sistem *open loop* tersebut, selanjutnya dapat melakukan *step test* yaitu dengan mencari *tangent line* atau garis tangen dari grafik hasil respon sistem *open loop* sebelumnya. Langkah ini bertujuan untuk mencari nilai g_p , τ , dan t_d dengan menghitung waktu yang ditunjukkan oleh grafik hasil respon sistem berdasarkan *tangent line*. Berikut ini adalah hasil *step test* dijelaskan pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Step Test Pada Grafik *Open Loop* Sistem

Hasil yang ditunjukkan:

$$\begin{aligned} \tau &= 0.9 \text{ ms} \\ t_d &= 0.013 \text{ ms} \\ \text{Change in PV} &= 32\% = 0.32 \\ \text{Change in CO} &= 28\% = 0.28 \end{aligned}$$

Selanjutnya, dari nilai-nilai di atas dapat dihitung nilai g_p seperti persamaan 8 berikut:

$$g_p = \frac{\text{Change in PV}}{\text{Change in CO}} = \frac{0.32}{0.28} = 1.1428571 \quad (8)$$

Keterangan:

$$g_p = \text{gain process (proses penambahan)}$$

Untuk menambahkan kontroler PID pada sistem maka diperlukan nilai parameter-parameter PID yaitu nilai dari K_c , T_i , dan T_d . Parameter-

parameter tersebut bisa didapatkan dengan perhitungan menggunakan rumus aturan tuning *Cohen-Coon*. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya metode tuning *Cohen-Coon* sering disebut kontroler PI, PD, P atau I karena nilai *derivatife* sangat sensitif dengan perhitungan gangguan (Gamasu, 2014). Sehingga penulis memilih menggunakan perhitungan kontroler PI dalam simulasinya.

Berikut ini perhitungan nilai parameter PI yaitu K_c dan T_i , dengan menggunakan rumus aturan tuning *Cohen-Coon* pada Tabel 1. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui nilai parameter K_c sebesar 54.5916807 (atau dibulatkan menjadi 54.592) dan nilai parameter T_i sebesar 0.0420007 (atau dibulatkan menjadi 0.04201).

Berdasarkan simulasi di atas, hasil respon sistem pada saat *set point* 90° menunjukkan nilai variabel-variabel seperti waktu naik (*rise time*), *settling time*, *peak time*, dan juga maksimal *overshoot* sesuai dengan yang sudah dijelaskan sebelumnya pada tahap Pendahuluan. Dalam tabel 2 akan ditunjukkan mengenai perbandingan nilai variabel karakteristik respon transien yang dihasilkan dalam penelitian ini dan penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan tuning *Cohen-Coon* dengan tuning *Tyreus-Luyben* oleh (Adzani, 2019).

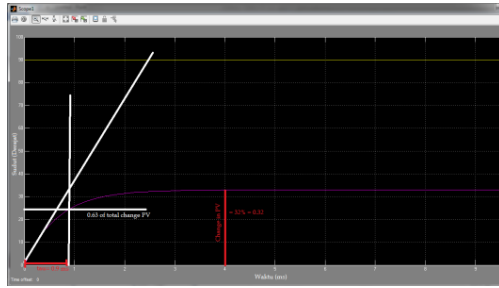
Tabel 2. Perbandingan Variabel Karakteristik Respon Transien

Variabel	Set Point	
	90° C-C	90° T-L
Tau (ms)	0.9	1.007
Delay time (ms)	0.013	0.697
Rise time (s)	1.34	2.212
Settling Time (s)	4.46	1.748
Peak Time (s)	1.12	1.59
Maximum Overshoot	11.6%	92°

Dapat dilihat, bahwa dengan waktu tunda (*delay time*) yang lebih cepat, akan berpengaruh pula pada waktu naik (*rise time*) respon sistem. Hal ini ditunjukkan pada tabel 1 diatas bahwa waktu naik (*rise time*) saat menggunakan tuning *Cohen-Coon* (CC) lebih cepat dibandingkan dengan *rise time* respon sistem saat menggunakan tuning *Tyreus-Luyben*.

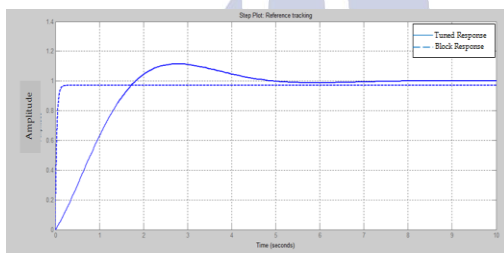
Selanjutnya setelah mendapatkan nilai parameter-parameter PID yaitu K_c dan T_i , langkah selanjutnya adalah menerapkan nilai-nilai tersebut ke dalam simulasi menggunakan aplikasi *Simulink* pada MATLAB 2014 dengan menambahkan blok *PID*

Controller seperti yang dijelaskan dalam gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. Diagram Blok Sistem Dengan Kontroler (*Close Loop*)

Selanjutnya dilakukan pengaktifan blok sistem (*Run*) sehingga dapat dilihat tampilan grafik respon sistem sesuai gambar 10 yang dijelaskan di bawah ini.



Gambar 10. Grafik Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID Metode Tuning *Cohen-Coon*

Dapat dilihat pada gambar 10 diatas, grafik menunjukkan secara jelas bahwa setelah diberikan kontroler berupa PID dengan metode tuning *Cohen-Coon*, respon sistem menjadi lebih bagus. Dalam grafik tersebut dapat dilihat juga bahwa kenaikan respon sistem menjadi lebih cepat. Hal ini menunjukkan keberhasilan metode tuning *Cohen-Coon* yang memang digunakan untuk mempercepat respon sistem sehingga dapat memperbaiki kekurangan yang ada pada penelitian-penelitian sebelumnya.

SIMPULAN

Menurut data hasil respon sistem yang sudah didapatkan dari simulasi diatas, setelah melakukan analisa sistem, dapat disimpulkan bahwa persamaan *transfer function* dari robot *Single Link Flexible Manipulator* dalam penelitian kali ini adalah $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{0.5778}{1.028s+1}$

Setelah dilakukan simulasi pada *Simulink* serta tahapan *step test*, didapatkan nilai $g_p = 1.1428571$, $\tau = 0.9$, dan $t_d = 0.013$. Kemudian nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk perhitungan parameter PID dan didapatkan nilai K_p

$= 54.592$ dan $K_i = 0.04201$. Setelah menerapkan nilai-nilai tersebut ke dalam simulasi, didapatkan respon sistem yang cepat dan lebih bagus dari penelitian sebelumnya pada set point 90° dengan waktu naik (*rise time*) selama 1.34s, *settling time* selama 4.46s, *peak time* selama 1.12s, dan mencapai overshoot sebesar 11.6%.

SARAN

Persamaan transfer fungsi yang telah didapatkan dari plant yang digunakan, harus diterapkan hanya pada plant dalam penelitian ini saja. Hal ini dikarenakan adanya ketimpangan nilai parameter-parameter yang dihasilkan. Tetapi, dengan ini peneliti memberikan saran agar lebih memilih untuk memakai metode lain saat perhitungan parameter-parameter PID agar bisa mencapai respon yang lebih baik lagi kedepannya dengan memanfaatkan nilai parameter PID pada penelitian ini sebagai acuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, A. M., Mohamed, Z., & Muhammad, M. 2014. *A Pd-Type Fuzzy Logic Control Approach For Vibration Control Of A Single-Link Flexible Manipulator*. International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) Vol. 1 No. 4, PP. 37-47.
- Adzani, Wahyu Raka. 2019. *Perancangan Kontroler PID Tyreus-Luyben Untuk Kendali Vibrasi Pada Robot Single Link Flexible Joint Manipulator*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Alam, M. S. & Tokhi, M. O. 2008. *Designing Feedforward Command Shapers With Multi-Objective Genetic Optimization For Vibration Control Of A Single-Link Flexible Manipulator*. Engineering Applications Of Artificial Intelligence, Vol. 21 No. 2, Hal: 229-246.
- Alandoli, E. A., Rashid, M. Z. A., & SULAIMAN, M. 2017. *A Comparison Of PID and LQR Controllers for Position Tracking and Vibration Suppression of Flexible Link Manipulator*. Journal of Theoretical & Applied Information Technology, Vol. 95 No. 13, hal: 2494-2955.
- Deif, S., Tawfik, M., & Kamal, H. A. 2011. *Vibration and Position Control of a Flexible Manipulator Using a PD-Tuned Controller With Modified Genetic Algorithm*. Makalah disajikan dalam *Proceedings of the ICCTA 2011 Conference*, Egypt, 15-17 October, hal: 15-17.

- Djalal, M. R., Ajiatmo, D., Imran, A., & Robandi, I. 2015. *Desain Optimal Kontroler PID Motor DC Menggunakan Cuckoo Search Algorithm*. Jurnal SENTIA 2015 Vol. 7 No. 1, hal: B-121–B-126.
- Endo, T., Matsuno, F., & Kawasaki, H. 2014. *Force Control And Exponential Stabilization Of One-Link Flexible Arm*. International Journal Of Control, Vol. 87 No. 9, hal: 1794-1807.
- Faradisa, Sayyuda. 2020. *Perancangan Kontroler PI Dengan Metode Tuning Cohen-Coon Untuk Kendali Suhu Pada Inkubator Bayi Berbasis Labview 2014*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Gamasu, R., & Jasti, V. R. B. 2014. *Robust Cohen-Coon PID Controller For Flexibility Of Double Link Manipulator*. International Journal Of Control and Automation, Vol. 7 No. 1, hal: 357-368.
- Lutfianam, Y. A. S., & Zuhrie, M. S. 2018. *Rancang Bangun Pengendalian Vibrasi Pada Single Link Flexible Joint Manipulator Robot Berbasis PID Controller*. Jurnal Teknik Elektro, Vol. 7 No. 3.
- Mahto, S. 2014. *Shape Optimization Of Revolute-Jointed Single Link Flexible Manipulator For Vibration Suppression*. Mechanism and machine theory, Vol. 75, hal: 150-160.
- Meshram, P. M. dan rohit g. kanojiya. 2012. *Tuning Of PID Controllers Using Ziegler-Nichols Method For Speed Control of DC Motor*. Makalah Disajikan dalam *International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICOAIESM)* India, March 30-31.
- Mittal, A., Swami, A., Bansal, B., Krishna, A., & Gaur, P. 2017. *ISTF-PID Based Single Joint Robotic Arm Control*. Makalah Disajikan Dalam *8th International Conference On Science, Technology, And Management*, New Delhi, July 2nd. Hal: 82-93
- Mohamed, Z., & Tokhi, M. O. 2002. *Vibration Control Of A Single-Link Flexible Manipulator Using Command Shaping Techniques*. Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part I: Journal Of Systems And Control Engineering, Vol. 216 No. 2, Hal: 191-210.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. Pearson Education, Inc. USA.
- Opti Control. 2011. *Cohen-Coon Tuning Rules*. (Online). (<https://blog.opticontrols.com/archives/383/comment-page-1>, diakses pada tanggal 28 Oktober 2019).
- Rafiuddin, syam. 2015. *Seri Buku Ajar Robotika: Kinematika Dan Dinamika Robot Lengan*. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Rahman, Achmad Zaki. 2019. *Inverse Kinematics dan Pengukuran Akurasi Pergerakan pada Model Robot Manipulator Lengan*. Jurnal Teknik Mesin-ITI Vol. 3 No. 2, hal. 53–58.
- Unarya, Chintia Putri. 2019. *Perancangan Sistem Pengaturan Gerakan Vertical Pada Towercopter Menggunakan Kontrol Proportional Integral Derivatif (PID) Berbasis Labview*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Yavuz S, L. Malgaca, H. Karagulle. *Vibration Control of a Single Link Flexible Composite Manipulator*. 2016. Turkey: Department of Mechanical Engineering, Dokuz Eylul University.
- Zain, B. A. M., Tokhi, M. O., & Toha, S. F. 2009. *PID-Based Control of a Single-Link Flexible Manipulator in Vertical Motion With Genetic Optimization*. Makalah disajikan dalam In 2009 Third Uksim European Symposium On Computer Modeling And Simulation. Hal: 355-360.