

PERANCANGAN KONTROLER PI UNTUK SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC PADA MINI KONVEYOR

Laili Rachma Budiarti

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : laili.budiarti24@gmail.com

Endryansyah

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : endryansyah@gmail.com

Abstrak

Saat ini banyak tercipta alat-alat yang dapat mempermudah pekerjaan manusia. Pada kegiatan industri alat yang paling sering digunakan adalah konveyor. Sistem konveyor adalah bagian umum dari peralatan penanganan mekanis yang memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain. Konveyor merupakan salah satu alat transportasi *raw material* yang paling banyak digunakan di industri. Dalam kondisi tertentu, konveyor dinilai lebih ekonomis dibandingkan alat transportasi lainnya seperti truk dan mobil pengangkut. Keunggulan dari konveyor adalah dapat memobilisasi barang dalam jumlah banyak dan secara kontinu, dapat meminimalisir kebutuhan tenaga, serta lebih efisien. Tujuan penelitian ini adalah merancang kontroler PI untuk sistem pengendalian kecepatan motor DC pada sebuah rancang bangun mini konveyor. Untuk mendapatkan nilai K_p dan K_i menggunakan pendekatan karakteristik respon sistem orde 1. *Software* yang digunakan adalah Labview 2014 untuk perancangan kontroler PI serta monitoring dalam bentuk grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai parameter kontroler PI yaitu $K_p = 3,971$ dan $K_i = 11,458$. Nilai K_p dan K_i yang telah didapatkan dimasukkan pada software Labview dan diterapkan pada mini konveyor. Kontroler PI yang dirancang mampu membuat sistem mencapai *setpoint* yang diinginkan. Nilai E_{ss} (*Error Steady State*) pada respon sistem menggunakan kontroler PI adalah sebesar 2,667%.

Kata Kunci : Konveyor, Kontroler PI, Labview

Abstract

At this time many tools that can facilitate human work. In industrial the most commonly used equipment is conveyors. A conveyor system is a common piece of mechanical handling equipment that moves materials from one location to another. Conveyors are one of the most widely used raw material transportation tools in the industry. Under certain conditions, conveyors are considered more economical than other transportation equipment such as trucks and transport vehicles. The advantage of the conveyor is that it can mobilize large quantities of goods and continuously, can minimize energy requirements, and be more efficient. The purpose of this research is to design a PI controller for the DC motor speed control system on a mini conveyor. To get the values of K_p and K_i using approach response system characteristic 1st order. The software used is Labview 2014 for the design of PI controllers and monitoring in graphical form. The results showed that the PI controller parameter values were $K_p = 3.971$ and $K_i = 11.458$. K_p and K_i values that have been obtained are included in the Labview software and applied to mini conveyors. PI controller designed can make the system reach the desired setpoint. The E_{ss} (*Error Steady State*) in the response system using a PI controller is 2.667%.

Keywords : Conveyor, PI Controller, Labview

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, banyak tercipta alat-alat yang dapat mempermudah pekerjaan manusia. Misalnya saja di dunia industri, diperlukan alat-alat yang dapat meningkatkan efisiensi proses produksi. Pada kegiatan produksi alat yang paling sering digunakan adalah konveyor. Konveyor adalah salah satu alat transportasi yang digunakan untuk memindahkan material dari titik satu ke titik yang lain (Mohd Heidir Mohd Shah, 2013).

Konveyor dapat mempermudah proses pendistribusian, baik berupa benda padat ataupun cair. Konveyor merupakan salah satu alat transportasi *raw*

material yang paling banyak digunakan di industri. Dalam kondisi tertentu, konveyor dinilai lebih ekonomis dibandingkan alat transportasi lainnya seperti truk dan mobil pengangkut. Keunggulan dari konveyor adalah dapat memobilisasi barang dalam jumlah banyak dan secara kontinu, dapat meminimalisir kebutuhan tenaga, serta lebih efisien.

Kapasitas angkut dari konveyor berbeda-beda, tergantung pada jenis material yang diangkut, lebar *belt*, daya motor yang digunakan dimana akan mempengaruhi kecepatan motor pada konveyor (Erinofiardi, 2012). Dalam pelaksanaannya, konveyor sering mengalami permasalahan, diantaranya seperti

berkurangnya kapasitas angkut, dan kecepatan konveyor yang tidak sesuai. Semakin besar kapasitas angkut pada konveyor, maka kecepatan motor akan semakin lambat begitu juga sebaliknya.

KAJIAN PUSTAKA

Kontroler PI

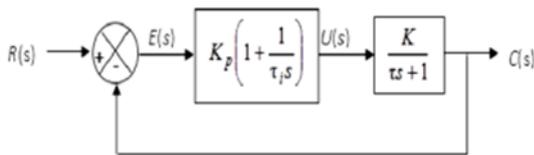
Keuntungan gabungan dari kontroler PI adalah untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset*. Kontroler dengan kontrol proporsional ditambahkan dengan kontroler integral hubungannya adalah $u(t)$ sebagai *output* dari kontroler dan $e(t)$ adalah sinyal *error* (Ogata, 1985). Kontroler Proporsional-Integral dituliskan sebagai berikut :

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

Keterangan :

- $e(t)$: sinyal *error*
- $u(t)$: *output* kontroler
- K_p : konstanta proporsional
- T_i : waktu integral

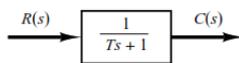
Sebuah kontroler PI untuk kondisi *plant* orde satu membentuk sistem umpan balik dengan masukan $R(s)$ dan keluaran $C(s)$, dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Blok Kontroler PI *Plant* Orde Satu (Sumber : Ogata, 1985)

Karakteristik Respon Orde Satu

Diagram blok sistem orde satu ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Diagram blok sistem orde satu. (Sumber : Ogata, 2010)

Secara fisik sistem ini mungkin direpresentasikan pada rangkaian RC, sistem termal, atau yang serupa. Hubungan *input-output* pada sistem orde satu dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2)$$

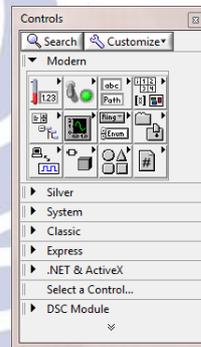
Keterangan:

- $C(s)$: Sinyal *Output*
- $R(s)$: Sinyal *Input*
- K : Konstanta
- τs : Konstanta waktu

Semua sistem dengan karakteristik orde satu memiliki fungsi transfer yang sama akan menunjukkan *output* yang sama dengan respon *input* yang juga sama.

Labview

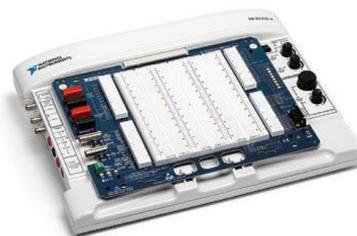
Laboratory virtual instrument engineering workbench (LabVIEW) adalah suatu *software* yang digunakan untuk pemrosesan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kendali dan instrumentasi, serta otomatisasi industri. Kelebihan LabVIEW dibandingkan dengan bahasa pemrograman lainnya adalah bahasanya yang mudah dipahami, pembuatan program mudah, waktu pembuatan program singkat, memiliki integrasi dengan ribuan *hardware* dan ratusan *library* yang siap digunakan Berbeda dengan pemrograman lainnya yang menggunakan *text*, LabVIEW mempunyai bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok. *software* ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu *front panel*, *block diagram*, *function palette*, dan *control palette*. (National Instruments, 2013)



Gambar 3. *Control Palette* pada Labview (Sumber : www.ni.com)

NI Elvis II

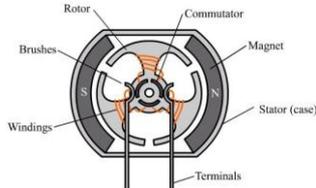
National Instruments Educational laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS) adalah suatu module instrumentasi dan *prototyping* berbasis LabVIEW dan komputer. NI ELVIS terdiri dari *prototyping board*, piranti *data acquisition* (DAQ) multifungsi, dan instrumen virtual berbasis LabVIEW. Kombinasi ini menghasilkan suatu *platform* instrumentasi modular terintegrasi, yang kemampuan fungsionalnya dapat dibandingkan dengan instrumen pada umumnya seperti multimeter digital, Osiloskop, *Function Generator*, dan *Power Supply* yang biasa dijumpai di dunia teknik elektro.



Gambar 4. Modul NI Elvis (Sumber : www.ni.com)

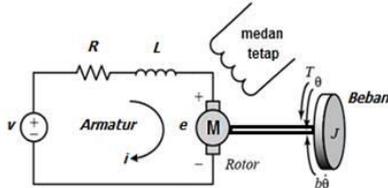
Motor DC

Pada motor DC kumparan medan disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran.



Gambar 5. Bagian-bagian motor DC (Sumber : artikel-teknologi.com/prinsip-kerja-motor-listrik/)

Pada umumnya dalam sistem kontrol banyak digunakan motor DC sebagai *actuator* pada *plant*. Secara konsep dasar motor DC merupakan penerapan gaya Lorentz yang terjadi pada medan magnet listrik.



Gambar 6. Rangkaian Ekuivalen Motor DC (Sumber : Djoko Sugiono, 2015)

Konveyor

Konveyor merupakan alat pembawa barang atau sering disebut dengan ban berjalan. Konveyor berfungsi sebagai sarana transportasi barang dari satu proses menuju proses lainnya. Sistem konveyor digunakan apabila kita ingin memindahkan suatu material dalam jumlah banyak dan secara kontinu. (Nesya Hardiyanti, 2010)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

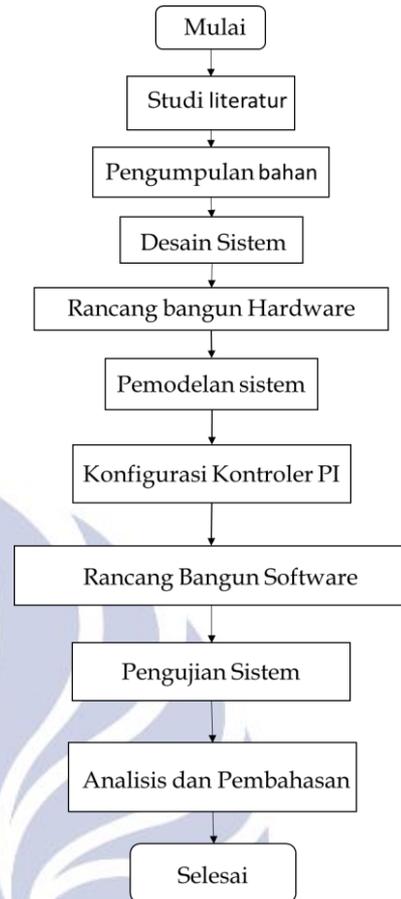
Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dengan perhitungan angka. Pada penelitian ini menggunakan aplikasi simulasi terlebih dahulu untuk menguji coba sistem yang akan digunakan dan mengembangkan model matematis. *Software Labview* digunakan untuk menerapkan kontroler PI.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kendali Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya dan waktu pelaksanaannya dilakukan pada semester gasal 2018/2019.

Rancangan Penelitian

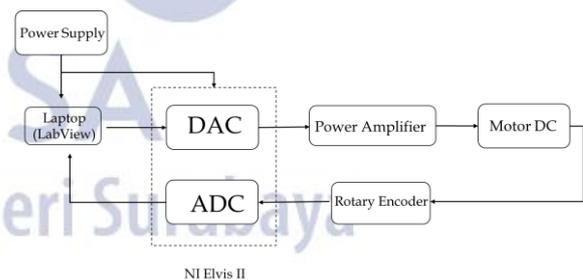
Rancangan penelitian ini dilakukan secara sistematis dan terstruktur. Tahapan penelitian ini ditunjukkan pada diagram dibawah ini :



Gambar 7. Diagram Rancangan Penelitian (Sumber : Data Primer, 2018)

Desain Sistem

Desain sistem kontroler PI untuk pengendalian kecepatan motor DC pada mini konveyor ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 8. Model Desain Sistem Perancangan Kontroler PI untuk Pengendalian Kecepatan Motro DC pada Mini Konveyor.

(Sumber : Data Primer, 2018)

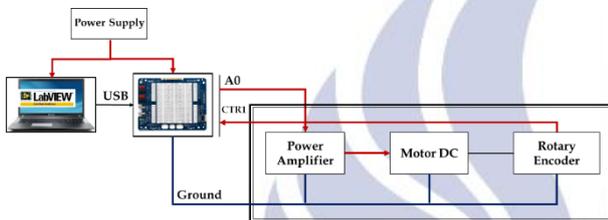
Pada gambar diatas merupakan desain sistem perancangan kontroler PI untuk pengendalian kecepatan motor DC pada mini konveyor yang terdiri dari blok sistem yang terintegrasi menjadi satu. Pada blok *hardware* terdiri dari *power supply*, NI Elvis II, *power amplifier*, motor DC, dan *rotary encoder*. *Power supply* digunakan untuk sebagai sumber tegangan listrik ke

semua perangkat yang ada di dalam rangkaian dengan sumber listrik sebesar 220 volt. *Rotary encoder* sebagai sensor yang membaca kecepatan pada laju mini konveyor. Dimana hasil pembacaan sensor tersebut akan dikirim ke NI Elvis. NI Elvis berfungsi sebagai alat untuk mengumpulkan atau akuisisi data. Selain itu NI Elvis berfungsi sebagai perantara antara laptop (PC) dan *actuator* untuk membaca nilai *input* dan *output* sistem.

Kontroler PI dan proses pengontrolannya dilakukan pada laptop (PC) dengan *software* LabVIEW 2014.

Rancang Bangun Hardware

Rancang bangun *hardware* yang dimaksud adalah menghubungkan antar komponen, sehingga semua komponen yang digunakan dapat terhubung dan dapat beroperasi sesuai dengan desain sistem.



Gambar 9. Skema Rangkaian *Hardware* Desain Sistem Perancangan Kontroler PI untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC pada Mini Konveyor (Sumber : Data Primer, 2018)

Laptop (PC) sebagai alat untuk penerima data, pemrosesan, pengiriman program ke NI Elvis melalui kabel *Universal Serial Bus* (USB), dan menampilkan *Graphical User Interface* (GUI) untuk mempermudah penggunaan data. Untuk memonitoring kinerja sistem menggunakan *software* LabView dengan data yang didapat dari pembacaan sensor dalam bentuk grafik atau angka. *Software* LabVIEW 2014 sudah terhubung dengan NI Elvis untuk proses pengendalian kecepatan motor DC pada mini konveyor dengan menggunakan kontroler PI.

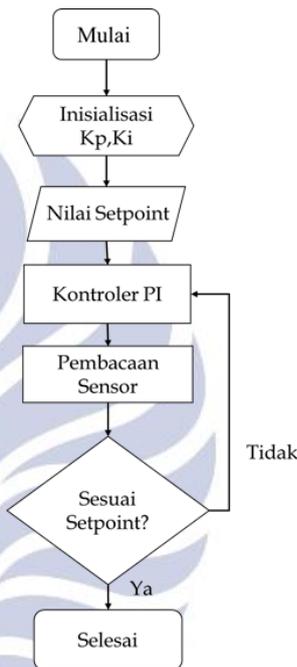
Pemodelan Sistem

Untuk mendapatkan pemodelan sistem harus mengetahui fungsi alih dari sistem. Fungsi alih didapatkan dengan cara pendekatan sistem orde-1. Sehingga untuk mendapatkan parameter-parameter dari karakteristik sistem orde-1 yaitu K , dan τ , dilakukan pengambilan data sebanyak 6 kali dengan *setpoint* berbeda-beda. Percobaan dilakukan dengan *loop* terbuka sehingga didapatkan respon sistem orde-1. Setelah didapatkan 6 fungsi alih dari setiap *setpoint*, selanjutnya fungsi alih tersebut akan disimulasikan dan dibandingkan dengan respon sistem sesungguhnya. Setelah dibandingkan, akan didapatkan *error* antara respon sesungguhnya dan respon simulasi. Fungsi alih dengan *error* rata-rata terkecil akan digunakan sebagai

fungsi alih sistem dan menjadi acuan untuk mendesain kontroler PI.

Rancang bangun Software

Software yang digunakan pada penelitian ini adalah LabVIEW 2014. Pada rancang bangun *software* akan dilakukan pemrograman pada *software* LabVIEW 2014 yang nantinya akan diintegrasikan dengan NI Elvis. LabVIEW adalah *software* pemrograman yang diproduksi oleh National Instrument. Berbeda dengan pemrograman lainnya yang menggunakan *text*, LabVIEW mempunyai bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok.



Gambar 10. Diagram alir dari *software* pengendalian Kecepatan Motor DC pada Mini Konveyor (Sumber : Data Primer, 2018)

Dari diagram alir diatas, pengaturan kecepatan motor akan selalu menyesuaikan dengan nilai *setpoint* yang diberikan. Dari pembacaan sensor akan diketahui apakah kecepatan motor sudah sesuai dengan *setpoint* atau belum. Jika belum akan diketahui nilai *error*, dan nilai *error* tersebut akan diolah oleh kontroler PI. Jika nilai *error* tidak sama dengan 0 maka proses akan berulang terus-menerus, dan apabila nilai *error* sama dengan 0 atau mendekati 0 maka proses akan berhenti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai kalibrasi sensor *rotary encoder*, pemodelan sistem, validasi model, perancangan kontroler PID, pengujian respon sistem.

1) Kalibrasi Sensor *Rotary Encoder*.

Kalibrasi sensor *rotary encoder* dilakukan untuk mendapatkan nilai rotasi per menit (RPM) motor DC. Alat yang digunakan untuk kalibrasi sensor adalah

digital tachometer tipe DT-2234L. Tabel hasil kalibrasi sensor *rotary encoder* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kalibrasi sensor *rotary encoder*

No.	Supply Tegangan (Volt)	Pembacaan Digital Tachometer DT-2234L (RPM)	Pembacaan Sensor Rotary Encoder (RPM)	Error (RPM)
1.	2,5	30,2	26,6	3,6
2.	3	36,7	32,4	4,3
3.	3,5	50,0	44,9	5,1
4.	4	60,4	55,7	4,7
5.	4,5	73,7	67,3	6,4
6.	5	84,8	79,7	5,1
Erros Rata-Rata				4.86

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

Dari data kalibrasi sensor *rotary encoder* yang diperoleh, dapat diketahui error rata-rata antara sensor *rotary encoder* dengan digital tachometer DT-2234L adalah sebesar 4,86 rpm.

2) Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan karakteristik sistem orde-1 dan parameter yang dibutuhkan adalah K dan τ . Metode pendekatan karakteristik orde-1 dilakukan untuk mendapatkan model atau fungsi alih sistem. Fungsi alih yang diperoleh akan digunakan untuk merancang kontroler PI dan untuk mengetahui respon sistem simulasi. Dilakukan pemodelan pada 6 *setpoint* yang berbeda, yaitu 2.5V, 3V, 3.5V, 4V, 4.5V, 5V. Dan diperoleh nilai K = 0,50362 dan $\tau=0,3465$.

3) Validasi Sistem

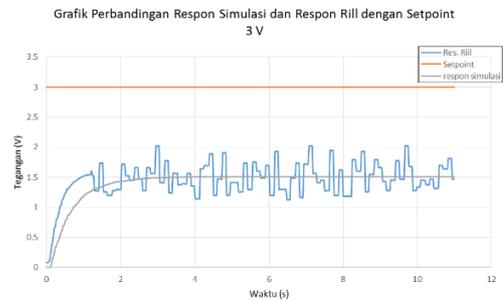
Validasi model dilakukan untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem yang memiliki respon dengan tingkat *error* terendah. fungsi alih dari 6 *setpoint* yang telah dimodelkan beserta *error* rata-rata ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Fungsi alih dan perhitungan *error*

Setpoint	Fungsi Alih	Error Rata-Rata
2,5 V	$G(s) = \frac{0,48919}{0,16749263 s + 1}$	0,228
3 V	$G(s) = \frac{0,50362}{0,34658 s + 1}$	0,218
3,5 V	$G(s) = \frac{0,49278}{0,03296 s + 1}$	0,234
4 V	$G(s) = \frac{0,67157}{0,20489 s + 1}$	0,328
4,5 V	$G(s) = \frac{0,65984}{0,40043 s + 1}$	0,404
5 V	$G(s) = \frac{0,49278}{0,20694 s + 1}$	0,381

(Sumber : Ahmad Riza Maulana, 2018)

Dari tabel 2, dapat diketahui fungsi alih dengan nilai *error* rata-rata terendah adalah fungsi alih dari *setpoint* 3 volt yang memiliki *error* rata-rata sebesar 0,218. Fungsi alih dengan *setpoint* 3 volt selanjutnya akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan parameter dari kontroler PI. Perbandingan respon dari fungsi alih dengan respon sistem (riil) ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Respon Simulasi dan Respon Riil dengan *Setpoint* 3 Volt
(Sumber : Achmad Riza Maulan, 2018)

Perhitungan parameter respon riil secara *open loop* dengan *setpoint* 3 volt dan nilai $\tau = 0,34658$ ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Respon *Plant* Riil dengan *setpoint* 3 Volt

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5 %)	1,7329 detik
Waktu tunak (2%)	1,38632 detik
Waktu tunak (5%)	1,03974 detik
Waktu naik (5%-95%)	1,02048 detik
Waktu naik (10%-90%)	0,76151 detik
Waktu tunda (τd)	0,24023 detik
Presentase <i>Error Steady State</i>	49,63%

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

4) Perancangan Kontroler PI

Perancangan kontroler PI dilakukan untuk mendapatkan parameter dari kontroler PI yaitu K_p dan K_i . Sudah ditentukan sebelumnya bahwa fungsi alih dengan *setpoint* 3 volt memiliki *error* rata-rata terendah dan dijadikan sebagai acuan untuk menentukan parameter kontroler PI.

Fungsi alih *setpoint* 3 volt.

$$G(s) = \frac{0,50362}{0,34658 s + 1} \tag{3}$$

Diketahui parameter,

$$K = 0,50362$$

$$\tau = 0,34658$$

Pada perancangan kontroler PI ini, penulis menginginkan sistem agar dapat 2x lebih cepat. Maka nilai konstanta waktu yang diinginkan (τ^*) adalah :

$$\begin{aligned} \tau * &= \tau \times 0,5 & (4) \\ \tau * &= 0,34658 \times 0,5 \\ \tau * &= 0,17329 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menentukan nilai Kp dan Ki, dimana diketahui nilai $\tau = \tau_i = \tau_d = 0,34658$. Nilai Kp dan Ki adalah :

$$K_p = \frac{\tau_i}{\tau * K} \quad (5)$$

$$K_p = 3,97125$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i} \quad (6)$$

$$K_i = 11,4584$$

Tabel 4. Parameter Kontroler PI

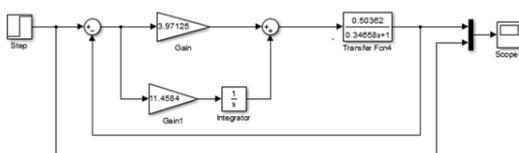
Parameter	Nilai
Kp	3,97125
Ki	11,4584

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

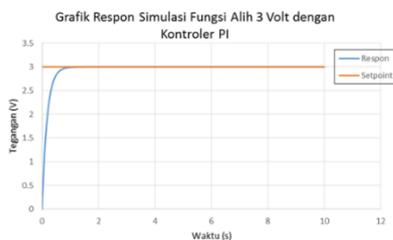
5) Implementasi Kontroler PI dan Pengujian Respon Sistem

Setelah didapatkan nilai Kp dan Ki, dilakukan implementasi kontroler PI terhadap *plant*. Sebelum mengimplementasikan pada riil *plant*, terlebih dahulu disimulasikan dengan menggunakan *software* Matlab 2014.

Fungsi alih yang digunakan adalah fungsi alih dengan *setpoint* 3 volt yang telah didapatkan dari pemodelan sebelumnya. Dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh kontroler PI pada fungsi alih dengan *setpoint* 3 volt. Diagram blok Matlab akan ditunjukkan pada Gambar 12 dan hasil simulasi respon sistem akan ditunjukkan pada Gambar 13.

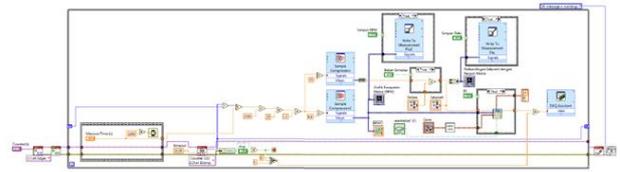


Gambar 12. Diagram Blok pada Simulink matlab (Sumber : Matlab, 2014)



Gambar 13. Grafik Respon Simulasi Fungsi Alih 3 Volt dengan Kontroler PI (Sumber : Data Primer, 2018)

Selanjutnya dilakukan pengujian respon terhadap riil *plant*. Diagram blok dan tampilan GUI pada Labview ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14. Diagram Blok Labview dengan Kontroler PI

(Sumber : Labview 2014)

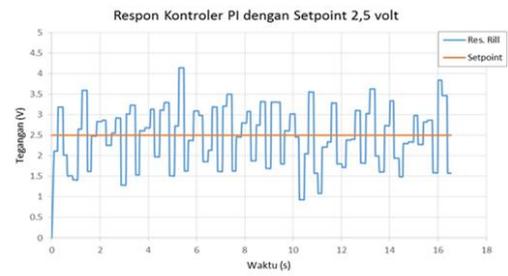


Gambar 15. Tampilan GUI Labview (Sumber : Labview 2014)

Pengujian respon pada riil *plant* menggunakan empat metode yaitu dengan *setpoint* tetap, *setpoint* bervariasi, pengujian dengan beban simulasi Labview, dan pengujian dengan beban riil.

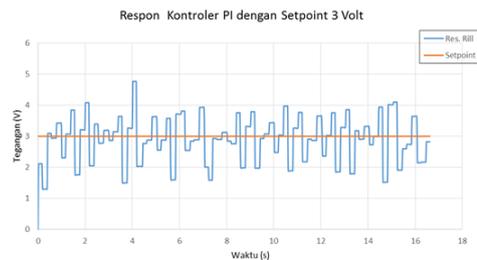
a. Pengujian Respon Sistem Riil dengan *Setpoint* Tetap.

Pengujian ini dilakukan pada tiga *setpoint* berbeda yaitu 2.5 volt, 3 volt dan 3.5 volt selama 16 detik dengan *sampling time* 0.02 detik. Hasil respon kontroler PI pada riil *plant* dengan *setpoint* 2.5 volt, 3 volt dan 3.5 volt akan ditunjukkan pada Gambar 16, 17, dan 18.



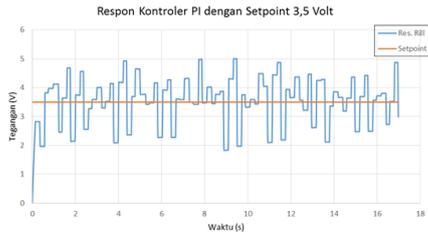
Gambar 16. Respon Kontroler PI dengan *Setpoint* 2,5 volt

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)



Gambar 17. Respon Kontroler PI dengan *Setpoint* 3 volt

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)



Gambar 18. Respon Kontroler PI dengan *Setpoint* 3,5 volt

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

Hasil perhitungan parameter respon sistem dengan menggunakan kontroler PI pada *setpoint* 2,5 volt ditunjukkan pada Tabel 5, dan diketahui nilai $\tau = 0,07016$

Tabel 5. Parameter respon sistem menggunakan kontroler PI dengan *setpoint* 2,5 volt.

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5 %)	0,3508 detik
Waktu tunak (2%)	0,28064 detik
Waktu tunak (5%)	0,21048 detik
Waktu naik (5%-95%)	0,206581 detik
Waktu naik (10%-90%)	0,15416 detik
Waktu tunda (τd)	0,04863 detik
Presentase Error Steady State	1,2 %

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

Perbandingan parameter respon sistem tanpa kontroler dan dengan menggunakan kontroler PI pada *setpoint* 3 volt disajikan dalam Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Perbandingan parameter respon sistem tanpa kontroler dan dengan menggunakan kontroler PI pada *setpoint* 3 volt

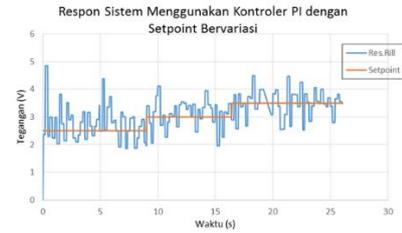
Parameter	Tanpa Kontroler (Detik)	Kontroler PI (Detik)
τ	0,34658	0,02476
Waktu tunak (0,5 %)	1,7329	0,1238
Waktu tunak (2%)	1,38632	0,09904
Waktu tunak (5%)	1,03974	0,07428
Waktu naik (5%-95%)	1,02048	0,0729
Waktu naik (10%-90%)	0,76151	0,0544
Waktu tunda (τd)	0,24023	0,01716
Presentase Error Steady State	49,63%	2,667 %

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

b. Pengujian Respon Sistem Riil dengan *Setpoint* Bervariasi

Pada pengujian ini dilakukan dengan memberi *input setpoint* yang diubah-ubah. Nilai *setpoint* yang digunakan yaitu, 2.5 volt, 3 volt dan 3.5 volt dengan *sampling time* 0.02 detik dan pengambilan data

dilakukan selama 26 detik. Hasil respon menggunakan kontroler PI dengan *setpoint* yang diubah-ubah ditampilkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Respon Kontroler PI dengan *Setpoint* bervariasi

Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

Hasil analisis respon sistem dengan kontroler PI terhadap *setpoint* yang berubah-ubah disajikan dalam Tabel 7 sebagai berikut,

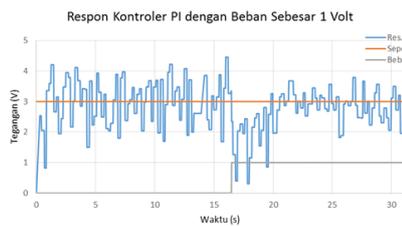
Tabel 7. Tabel analisis respon dengan kontroler PI terhadap *setpoint* yang bervariasi.

Setpoint	Respon Steady State	Error Steady State
2,5 Volt	2,627101	-0,127101
3 Volt	3,110813	-0,110813
3,5 Volt	3,47493	0,02507
Rerata Error Steady State		-0,11081

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

c. Pengujian dengan Beban Simulasi Labview.

Dilakukan pembebanan secara simulasi terlebih dahulu. Proses pembebanan simulasi dilakukan dengan menambahkan sinyal step sebesar 1 volt dari detik ke-16 sampai detik ke-30. Hasil respon kontroler PI ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Respon Kontroler PI dengan Beban Simulasi 1 Volt.

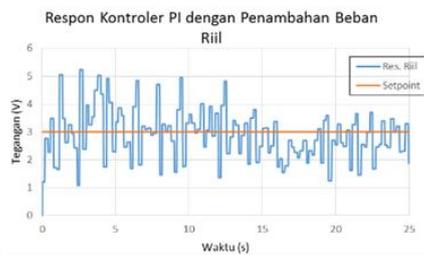
(Sumber : Data Primer, 2018)

Pada pengujian ini respon sistem diberi nilai *setpoint* sebesar 3 volt. Berdasarkan Gambar 20, dapat diketahui bahwa kontroler PI dapat mengendalikan respon sistem untuk kembali pada *setpoint* yang diberikan.

d. Pengujian dengan Beban Riil

Dilakukan dengan pembebanan secara riil. Pembebanan secara riil dilakukan dengan memberi pemberat pada *belt conveyor* sebesar 3 Kg. Hasil

respon sistem pembebanan secara riil ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Respon Kontroler PI dengan Beban Riil.

(Sumber : Data Primer, 2018)

Dari hasil respon kontroler PI dengan beban riil dapat dihitung parameter respon. Dan diketahui nilai $\tau = 0.17603$. Nilai parameter respon akan disajikan didalam Tabel 8.

Tabel 8. Parameter Respon Sistem kontroler PI dengan beban Riil 3 Kg

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5 %)	0,8805 detik
Waktu tunak (2%)	0,7012 detik
Waktu tunak (5%)	0.52809 detik
Waktu naik (5%-95%)	0,5183 detik
Waktu naik (10%-90%)	0.38677 detik
Waktu tunda (τd)	0.12201 detik
Presentase Error Steady State	4,3 %

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2018)

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka didapatkan simpulan bahwa fungsi alih sistem pengendalian kecepatan motor DC menggunakan kontroler PI dengan nilai presentase *error steady state* terendah adalah fungsi alih dengan *setpoint* 2.5 volt dengan nilai *error* sebesar 1,2 % yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Sesuai dengan persamaan 5 dan 6, didapatkan parameter kontroler PI yaitu $K_p = 3,971$ dan $K_i = 11,458$ dan dapat dilihat pada Tabel 4. Kontroler PI yang dirancang untuk mengendalikan kecepatan motor DC, berhasil mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan dan mengurangi nilai *Ess (Error Steady State)* pada respon sistem. Nilai presentase *error steady state* pada respon sistem riil tanpa kontroler PI adalah sebesar 49,63 % dan nilai presentase *error steady state* pada respon sistem riil menggunakan kontroler PI adalah 2,667 % sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Saran

Berdasarkan simpulan diatas ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan sistem agar hasil lebih maksimal, dengan melakukan metode pendekatan yang lain sehingga didapatkan fungsi alih dari sistem yang lebih sesuai dengan plant. Pembacaan

sensor *Rotary Encoder* pada penelitian ini masih kurang baik, sehingga dapat menggunakan sensor lain untuk membaca RPM agar didapatkan hasil pembacaan yang lebih akurat. Sistem ini masih dapat dikembangkan pada penelitian lain dengan menggunakan metode control yang berbeda seperti *PID-Fuzzy*, *Linear Quadratic Regulator control*, dan metode lainnya untuk mendapatkan respon yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Endryansyah dan Maulana, Achmad Riza. 2018. *Desain Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC pada Rancang Bangun Mini Konveyor Berbasis Fuzzy Logic Controller*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Endryansyah dan Rynaldo, Bagus Rio. 2018. *Pengembangan Two Wheels Balancing Robot dengan PI Controller Berbasis Labview 2014*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Erinofiardi. 2012. *Analisa Kerja Belt Conveyor 5857-V Kapasitas 600 Ton/Jam*. Jurusan Mesin Universitas Bengkulu.
- Hadriyanti, Nesya. 2010. *Rancangan Prototype Berbasis Mikrokontroler PIC16F877 Untuk Conveyor*. Fakultas Ilmu Komputer Universitas Gunadarma.
- National Instruments, 2013. *Getting Started with LabVIEW*. National Instruments Corporate Headquarters, Texas - USA. (Online) (www.ni.com diakses pada tanggal 8 Mei 2018)
- Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering 5th edition*. New York : Prentice Hall, Inc.
- Ogata, Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Terjemahan Edi laksono. Jakarta : Erlangga.
- Shah, Mohd Heidir .M dkk. 2013. *PLC Based Adaptive Fuzzy PID Speed Control of DC Belt Conveyor System*. International Journal on Smart Sensing and Intellegent Systems Volume 6, No.3.
- Sugiono, Djoko. 2015. *Model Matematika Motor DC*. (Online). (www.vedmalang.com diakses pada tanggal 6 Mei 2018)
- _____. 2014. *Prinsip Kerja Motor Listrik DC*. (Online). (artikel-teknologi.com diakses pada tanggal 3 Mei 2018)