

KONVERTER DAYA DC TO DC SEBAGAI DRIVER MOTOR DC DENGAN SISTEM KENDALI KECEPATAN CASCADE PI

(DC TO DC POWER CONVERTER AS DC MOTOR DRIVER WITH PI CASCADE SPEED
CONTROL)

Ardian Dwi Cahyo¹, Ekki Kurniawan,ST.,MSc², Agung Surya Wibowo,ST.,MT³

¹Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

dwicahyoardian@gmail.com¹, ekkikurniawan2012@gmail.com², auw@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Motor DC merupakan sebuah komponen elektrik yang dapat menghasilkan gerak mekanis dengan menggunakan prinsip elektromagnetis. Motor DC terdiri dari magnet dan kumparan yang jika dialiri arus listrik akan menghasilkan medan elektromagnetik yang menyebabkan motor DC bergerak. Pada penerapannya motor DC biasanya difungsikan sebagai *actuator* dalam sebuah sistem dengan sebuah penghubung atau lazimnya disebut *driver*. Dalam sebuah sistem *driver* yang lazim digunakan adalah rangkaian *H-Bridge*.

Disisi lain penggunaan *H-Bridge* juga memiliki kekurangan seperti keluaran masih dalam bentuk PWM. Sinyal PWM jika digunakan untuk mengatur putaran motor DC dapat mengakibatkan perubahan torsi pada motor DC secara mendadak. Hal ini jika dilakukan secara terus-menerus akan mengakibatkan masa pakai dari motor DC berkurang. Dengan demikian dibutuhkan sebuah rangkaian penghubung atau *driver* yang mengendalikan keluaran dari pengendali yang sudah dalam bentuk tegangan DC. Pada tugas akhir ini akan dibuat sebuah driver menggunakan DC to DC Power Converter tipe *Buck Converter*. Selain itu sistem kendali yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar motor DC menggunakan sistem kendali *cascade PI*.

Hasil dari tugas akhir ini adalah *prototype power converter* DC dengan *input* 24 V dan *output* dengan rentang 0V-12 V sebagai driver motor DC. Kendali yang diterapkan untuk sistem ini adalah sistem kendali *cascade PI* dengan konstanta kendali k_p primer sebesar 1.113, k_i primer sebesar 0.011, k_p sekunder sebesar 1.37, k_i sekunder sebesar 0.09. Sistem ini mampu mengendalikan putaran motor DC dengan putaran maksimum 23 RPS. Sistem kendali kecepatan ini memiliki akurasi sebesar ± 0.664644444 RPS per perubahan sebesar 5 PWM.

Kata Kunci : **Motor DC, DC to DC Power Converter, Driver Motor DC, Sistem kendali kecepatan motor dc.**

Abstract

DC motor is an electrical component that can produce mechanical motion using electromagnetic principle. DC motor consists of magnets and coils that when electrified will produce an electromagnetic field that causes the DC motor to start rotating. DC motors commonly used as actuators in a system with a link called a driver. On a system driver that usually used is H-Bridge circuit.

On the other side the use of H-Bridge also has lack such as the output is still in PWM. If PWM signal used to adjust the rotation of a DC motor, it's result a sudden change of torque on the DC motor. In the long run, it can reduced the lifetime of a DC motor. Therefore, we need the driver that controls the output in DC voltage. In this final project author will make a driver using DC to DC Power Converter type Buck Converter. In addition, the control system used to control the rotational speed from the DC motor uses a cascade PI control system.

The result of this final project is a prototype of DC power converter with 24 V input and output with range 0V-12 V as DC motor driver. The control applied to this system is the PI cascade control system with each parameters 1.113 primary k_p , 0.011 primary k_i , 1.37 secondary k_p and 0.09 secondary k_i . This system is capable to controlling the rotation of a DC motor with maximum rotation up to 23 RPS. The speed control system has accuracy ± 0.664644444 RPS per 5 PWM change.

Keywords : **DC motor, DC to DC Power Converter, DC Motor Driver, dc motor speed control system.**

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Motor DC merupakan sebuah komponen elektrik yang dapat menghasilkan gerak mekanis dengan menggunakan prinsip elektromagnetis. Motor DC terdiri dari magnet dan kumparan yang jika dialiri arus listrik akan menghasilkan medan elektromagnetik yang menyebabkan motor DC menghasilkan putaran. Secara struktur motor DC terdiri dari *rotator* dan *stator*. *Rotator* merupakan poros dari motor DC dan merupakan komponen yang bergerak. *Stator* merupakan komponen yang tetap atau diam dari motor DC saat motor DC beroperasi atau aktif. Motor DC beroperasi pada arus DC atau searah.

Pada penerapannya Motor DC difungsikan sebagai *plant* dalam sebuah sistem kendali. Sebagai sebuah *actuator* motor DC tidak dapat tersambung langsung ke sebuah pengendali. Hal ini dikarenakan beberapa hal meliputi kebutuhan daya dari motor DC, resiko umpan balik arus dari motor DC dan beberapa hal lainnya. Untuk itu diperlukan komponen tambahan yang menghubungkan antara motor DC dengan pengendali yang lazim disebut *driver*.

Pada umumnya penghubung antara pengendali ke motor DC yang lazim digunakan adalah rangkaian *H-Bridge*. *H-Bridge* merupakan rangkaian yang terdiri dari 4 buah transistor atau mosfet yang memungkinkan untuk dilewati arus dari dua arah. Hal ini memungkinkan *H-Bridge* untuk dijadikan *driver* motor DC. *H-Bridge* biasanya digunakan untuk mengontrol motor dc menggunakan metode PWM. Penggunaan *driver* jenis *H-Bridge* ini memungkinkan mosfet atau transistor yang digunakan untuk melewatkan tegangan dan arus yang lebih besar menggunakan tegangan dan arus yang lebih kecil. Oleh karena itu penggunaan *H-Bridge* banyak dijumpai pada alat-alat yang menggunakan motor DC pada sistemnya.

Penggunaan *H-Bridge* sebagai *driver* motor DC banyak digunakan karena merupakan rangkaian yang cukup sederhana, mudah digunakan dan mudah dipelajari. Disisi lain penggunaan *H-Bridge* juga memiliki kekurangan yaitu keluaran *H-Bridge* masih berupa sinyal kotak. Dengan *output* seperti ini, komponen mekanikal berupa *stator* dan *rotator* dalam sebuah motor DC dapat dengan mudah rusak karena pergantian level tegangan yang mendadak. Hal ini menyebabkan motor harus berputar dengan torsi yang berubah-ubah akibat perubahan level tegangan dengan cepat. Keadaan ini dipadukan dengan tekanan yang diterima komponen *stator* dan *rotator* akibat beban poros motor dapat mengurangi masa pakai atau umur dari motor DC.

Melihat permasalahan tersebut, penulis menyimpulkan bahwasanya penggunaan *H-Bridge* sudah tidak efektif lagi digunakan. Pada tugas akhir ini penulis membuat rancang bangun sebuah *driver* untuk mengendalikan kecepatan putar motor dc menggunakan DC to DC Power Converter. Penggunaan DC to DC power Converter dimaksudkan untuk mengubah masukan berupa PWM menjadi nilai tegangan DC. Dengan demikian akan mengurangi resiko kerusakan pada komponen elektronik maupun mekanik yang ada pada motor DC. Metode kendali yang digunakan pada sistem ini adalah kendali *cascade* PI. Sistem ini memungkinkan pengendalian kecepatan motor DC dikendalikan dengan akurat.

1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang driver motor dc menggunakan DC to DC Power Converter beserta desain kendali menggunakan sistem kendali *cascade* PI.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Motor DC

Motor DC adalah komponen elektro-mekanikal yang terdiri dari kumparan dan magnet yang bekerja menggunakan prinsip elektromagnet. Motor DC bekerja menggunakan arus searah atau arus DC (Direct Current). Secara umum motor DC terdiri dari *stator* dan *rotator*. *Stator* adalah komponen yang diam pada motor DC. *Rotator* adalah komponen yang bergerak atau berputar pada motor DC. Secara umum komponen dari sebuah motor DC terdiri dari :

- Kutub Medan Magnet
- Kumparan
- *Commutator*

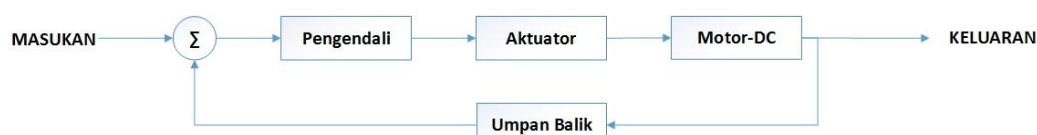
Motor DC memiliki kelebihan dalam hal pengendalian kecepatan putarannya yaitu tidak mempengaruhi kualitas pasokan dayanya. Dalam proses pengontrolan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan 2 metode mengatur besaran tegangan supply dan pengaturan arus medan.

2.2 Kendali Kecepatan Motor DC

Kendali kecepatan adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengontrol kecepatan rotasi motor DC. Sistem ini dibuat dengan tujuan mengurangi atau menambah kecepatan putar motor DC dengan berbagai cara. Salah satu cara yang paling umum adalah dengan metode PWM. Pengendalian motor DC dengan menggunakan metode PWM dilakukan dengan cara merekayasa *timing on-off* sumber yang akan berpengaruh pada putaran motor DC yang dikendalikan. Penggunaan pengendali motor DC sendiri memungkinkan untuk pengguna mengatur berapa kecepatan yang diinginkan.

Secara umum terdapat dua jenis pengendali kecepatan motor DC yaitu kendali kecepatan analog dan digital. Kendali kecepatan secara analog adalah sistem kendali kecepatan konvensional. Sistem kendali kecepatan masih menggunakan rangkaian penguat dengan transistor dan *op-amp*. Sedangkan rangkaian kendali kecepatan digital sudah menggunakan *microcontroller* atau *microprocessor* dalam proses pengendaliannya.

Cara kerja kendali motor DC yang umum dipakai sekarang dapat ditunjukkan pada gambar 2.1.

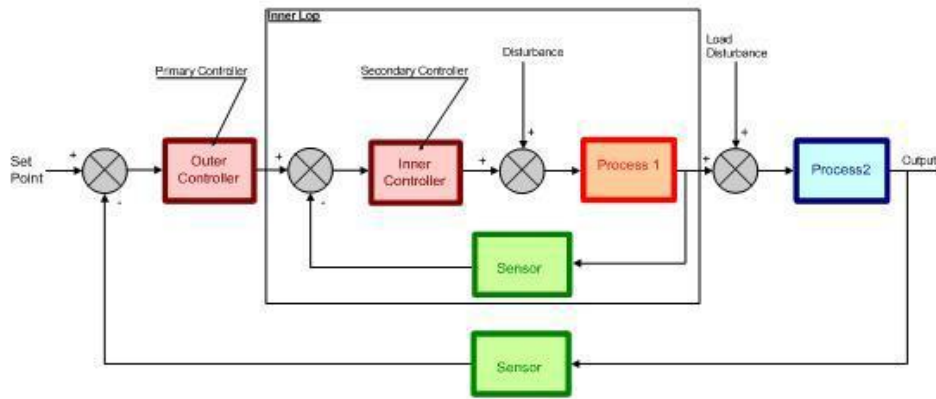


Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Kendali Kecepatan Motor DC

2.3 Sistem Kendali Cascade

Sistem kendali merupakan gabungan dari beberapa komponen yang bekerja saling mendukung dengan tujuan mengendalikan sebuah *plant*. Sistem kendali secara umum terdiri dari beberapa unsur pendukung yaitu pengendali, *actuator*, dan *plant*. Secara umum sistem kendali terbagi menjadi dua jenis yaitu sistem kendali *close loop* dan sistem kendali *open loop*. Perbedaan dari sistem kendali *open loop* dengan sistem kendali *close loop* terletak pada ada tidaknya komponen sensor. Sensor ini digunakan dengan tujuan membandingkan nilai keuaran yang dihasilkan

plant dengan masukan agar keluaran yang dihasilkan lebih akurat. Gambar 2.3 merupakan blok diagram sistem kendali *cascade* secara umum.



Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem Kendali *Cascade*

2.4 DC to DC Power Converter

DC to DC Power Converter adalah converter daya yang mengubah daya dengan *input* DC menjadi *output* DC. DC to DC power converter biasanya digunakan untuk tujuan menurunkan atau menaikkan tegangan dan atau arus keluarannya. DC to DC power converter biasanya digunakan untuk sebuah system dengan kebutuhan daya yang spesifik. Contoh penggunaan DC to DC power converter adalah pada penggerak mekanikal seperti servo, motor dc, solenoid dan lain sebagainya.

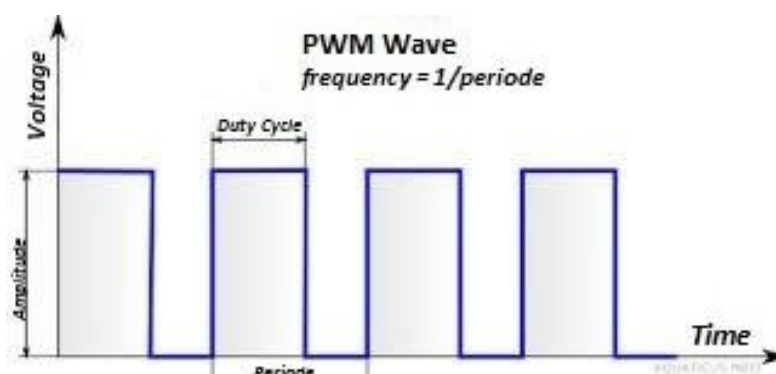
Berdasarkan proses yang terjadi dan komponen yang digunakan DC to DC power converter terdiri dari dua tipe yaitu linear dan non-linear. DC to DC power converter linear memproses input dan output tanpa mengubah bentuk sinyal *input*. Pada DC to DC power converter linear seluruh komponen yang digunakan adalah komponen yang bekerja pada arus DC. Sedangkan DC to DC power converter non-linear bekerja dengan mengubah sinyal DC menjadi AC atau pulsa DC dengan frekuensi tinggi terlebih dahulu sebelum diproses. Pada DC to DC power converter non-linear biasanya disebut DC to DC power converter *switching*.

Berdasarkan *input* dan *output*, DC to DC power converter terbagi menjadi beberapa tipe.

- DC Choppers
- Buck Converter
- Boost Converter
- Buck-Boost Converter
- Cuk Converter

2.5 Pulse Width Modulation(PWM)

PWM(Pulse Width Modulation) adalah salah satu jenis modulasi yang didasarkan dua kondisi yaitu 0 dan 1 dalam waktu tertentu. Modulasi PWM dilakukan dengan cara merubah lebar pulsa dari suatu pulsa data. Total 1 periode (T) pulsa dalam PWM adalah tetap, dan data PWM pada umumnya menggunakan perbandingan pulsa positif terhadap total pulsa. Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi sinyal PWM dan *duty cycle* yang terdapat pada PWM.



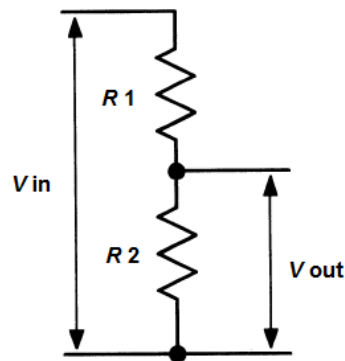
Gambar 2.4 Sinyal Pulse Width Modulation

Duty cycle merupakan perbandingan dari lamanya waktu off pada PWM dengan waktu on dari PWM tersebut. Periode merupakan waktu total dari satu gelombang PWM. Amplitude merupakan tegangan *high* atau kondisi 1 pada PWM.

2.6 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah suatu alat yang mengukur tegangan pada alat elektronik. Sensor tegangan umumnya

berupa sebuah rangkaian pembagi tegangan. Tegangan masukan ke sensor tegangan akan dikonversikan dalam tegangan yang dapat dibaca *microcontroller* yaitu 0 – 5 volt. Lalu tegangan akan diterjemahkan menjadi satuan digital melalui *microcontroller* agar dapat diatur lebih lanjut. Secara umum rangkaian dari sensor tegangan ditunjukkan pada gambar 2.5.



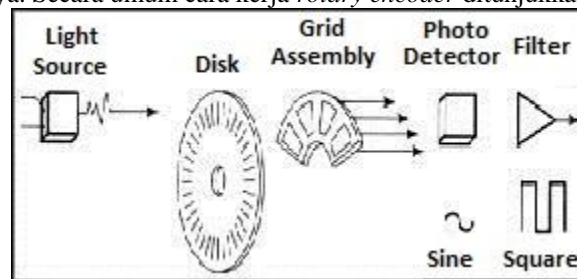
Gambar 2.5 Rangkaian Pembagi Tegangan

Tegangan keluaran dari sensor tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V_o = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2.7 Rotary Encoder

Rotary encoder merupakan rangkaian elektronik mengubah besaran posisi sudut atau kecepatan rotasi menjadi besaran analog. Perangkat ini biasanya menggunakan prinsip kerja magnet atau menggunakan rangkaian *proximity*. Pada kehidupan sehari-hari *rotary encoder* biasanya digunakan sebagai pembaca kecepatan, pembaca posisi sudut, dan lain sebagainya. Secara umum cara kerja *rotary encoder* ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Alur Kerja Rotary Encoder

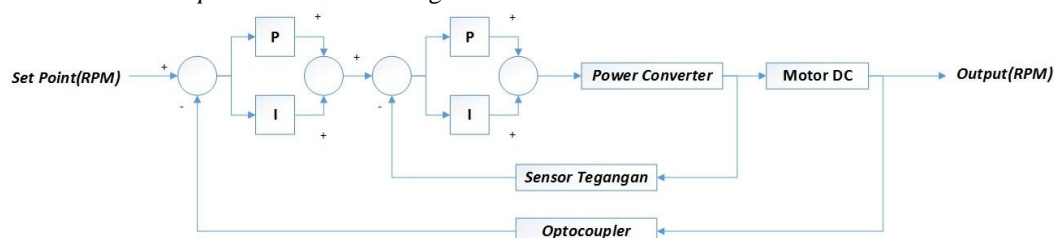
2.8 Tingkat Ketelitian Sistem

Dalam sebuah pengukuran atau sistem biasanya terdapat nilai yang menggambarkan tingkat ketelitian sebuah alat. Nilai atau tingkat ketelitian ini sendiri digunakan untuk menggambarkan seberapa jauh besaran yang dihasilkan dari alat atau sistem melenceng. Tingkat ketelitian ini biasanya digunakan untuk mengkalkulasi faktor toleransi dari keluaran sebuah alat atau sistem agar kesalahan sistem dapat diminimalisir. Tingkat ketelitian ini biasanya didapat melalui perhitungan akurasi atau presisi sebuah sistem.

3. Pembahasan

3.1 Desain Sistem

Pada sistem ini terdapat dua *loop* kendali yang menyusun keseluruhan sistem ini. *Loop* ini disebut *loop* primer dan *loop* sekunder. Set point pada sistem ini merupakan besaran kecepatan. Besaran ini nantinya akan diproses oleh sistem kendali agar mengeluarkan besaran PWM sesuai dengan yang diinginkan. PWM ini nantinya akan menjadi masukan bagi *DC to DC power converter* untuk menyesuaikan tegangan keluarannya. Tegangan keluaran *DC to DC power converter* ini nantinya akan digunakan sebagai sumber tenaga dari motor DC. Gambar 3.1 merupakan diagram blok sistem yang menggambarkan cara kerja desain kendali kecepatan motor DC menggunakan *DC to DC power converter* sebagai start halus.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Kendali Kecepatan dengan PI Cascade

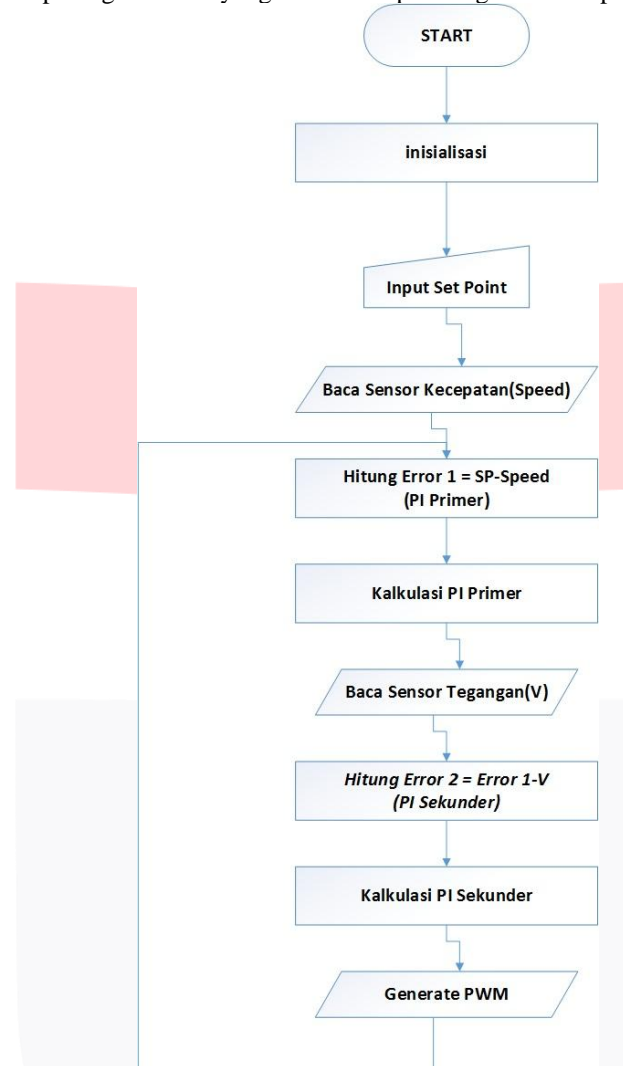
3.2 Desain Perangkat Keras

Pada penelitian ini terdapat beberapa komponen serta modul akan digunakan sebagai subsistem yang menyusun sistem ini. Beberapa komponen dan modul itu adalah.

- Arduino Uno
- DC to DC Power Converter
- Rotary Encoder
- Sensor Tegangan
- Adaptor
- Motor-DC

3.3 Desain Perangkat Lunak

Pada penelitian ini desain perangkat lunak yang akan diterapkan digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Flowcart Sistem Kendali Kecepatan dengan PI Cascade

Pada bagian perangkat lunak sistem dimulai dengan proses inisialisasi setelah itu dilanjutkan dengan memasukkan nilai *set point*. Setelah *set point* dimasukkan nilai ini akan dikurangkan dengan hasil pembacaan sensor untuk memperoleh nilai *error*. Setelah itu nilai *error* ini akan dipakai untuk proses kalkulasi PI primer. Setelah itu hasil kalkulasi ini akan dikurangi kembali dengan hasil pembacaan sensor tegangan untuk menentukan *error* ke dua. Setelah itu digunakan untuk kalkulasi PI sekunder. Setelah itu hasil pengolahan ini akan menghasilkan PWM untuk proses switching *buck converter*. Tegangan ini akan digunakan untuk menggerakkan motor DC. Selain itu tegangan ini akan dibaca sensor tegangan. Setelah proses pembacaan oleh sensor tegangan, keluaran tegangan *buck converter* akan menjadi masukan bagi motor DC. tegangan ini akan menghasilkan putaran dari motor DC.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah.

1. Pengendalian motor DC dilakukan menggunakan sistem kendali *cascade PI* yang mengendalikan kecepatan putar motor DC dengan dua *loop* sistem yaitu *loop* kendali *tegangan* sebagai pengendali aktuator dan *loop* kendali kecepatan sebagai pengendali *plant*.

2. *Driver* motor DC didesain agar mengeluarkan *output* berupa tegangan yang dapat diatur dari tegangan 0 Volt s.d 12 Volt menggunakan *converter* tegangan DC to DC *step down*(*Buck Converter*).
3. *Driver* dapat bekerja dengan baik dan memiliki akurasi perubahan tegangan sebesar $\pm 60.10403842 \text{ mV}$ per perubahan 5 PWM.
4. Rotasi motor DC dikendalikan menggunakan *driver* tegangan berupa *Buck Converter* dengan akurasi perubahan kecepatan rotasi per menit(RPM) $\pm 2.35287824 \text{ RPM}$ per perubahan 5 PWM dan rotasi per sekon(RPS) sebesar $\pm 0.664644444 \text{ RPS}$ per perubahan sebesar 5 PWM.
5. Respons sistem kendali tegangan saat sistem dijalankan memiliki *peak* 9.64 V. *Maximum overshoot* pada sistem ini bernilai 2.64 V. *Settling time* pada sistem bernilai 12.15 sekon. *Peak time* 5.7 sekon. *Rise time* pada sistem adalah 5.4 sekon dan *steady state error* bernilai relatif menuju 0. Pada saat pengujian ini dilakukan nilai *kp* yang merupakan konstanta kendali Proporsional sebesar 1.23 dan nilai *ki* yang merupakan konstanta kendali integral sebesar 0.012.
6. Pada saat pengujian sistem kendali *cascade* PI maksimum putaran motor saat sistem dijalankan adalah 18.84 rps. *Maximum overshoot* sistem adalah 0.84 rps. *Rise time* sistem adalah 49.95 sekon. *Peak time* sistem adalah 66.150 sekon. Sedangkan *settling time* pada sistem adalah 67.8 sekon dan *steady state error* pada sistem relatif menuju 0. Pada saat pengujian dilakukan nilai konstanta pada sistem kendali masing-masing *kp* primer sebesar 1.113, *ki* primer sebesar 0.011, *kp* sekunder sebesar 1.37, *ki* sekunder sebesar 0.09.
7. Dari hasil pengukuran dan analisis data sistem kendali tegangan dan data sistem kendali kecepatan menggunakan *cascade* PI dapat disimpulkan bahwa *driver* motor DC menggunakan *buck converter* memiliki akurasi yang cukup baik.
8. Secara keseluruhan desain *driver* memberikan *output* sesuai dengan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Silva-Ortigoza, V. M Hernández-Guzmán, M. Antonio-Cruz, Daniel Muñoz-Carrillo. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 30, NO. 2, FEBRUARY 2015.
- [2] J. Linares-Flores and H. Sira-Ramírez, DC motor velocity control through a DC-to-DC power converter, 43rd IEEE Conference on Decision and Control December 14-17, 2004 Atlantis, Paradise Island, Bahamas
- [3] T. Colouii, M. Abrudean, M.L. Ungureúan, V. Mureúan. 2nd IFAC Workshop on Convergence of Information Technologies and Control Methods with Power Systems, May 22-24, 2013. Cluj-Napoca, Romania.
- [4] Ogata Katsuhiko, *Discrete Time Control System*. Minnesota, U.S. : Prentice-Hall, 1995.
- [5] Kreyszig Erwin, ADVANCE ENGINEERING MATHEMATICS, Ohio, U.S. : John Wiley and Sons Inc, 2006.
- [6] William Stallings, DATA AND COMPUTERS COMMUNICATION 8th Edition, New Jersey, U.S. : Prentice Hall, 2007.
- [7] Rashid .Muhammad H, POWER ELECTRONICS HANDBOOK 2nd EDITION, Florida, US : Elsevier Inc, 2007.
- [8] Anonim, Pengertian Adaptor Fungsi dan Jenis, <http://www.masputz.com/-2015/08/pengertian-adaptor-fungsi-dan-jenis.html>, Diakses 11 Oktober 2016; 15.47.
- [9] Anonim, Arduino Uno, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, Diakses 11 Oktober 2016; 19.40.
- [10] Anonim, Sekilas Rotary Encoder, <https://konversi.wordpress.com/2009/06/12/sekilas-rotary-encoder/>, Diakses 14 Oktober 2016; 14.22.
- [11] Umar, Membuat dan Mendesain Buck-Boost Konverter, <http://ngerumpilistrik.blogspot.co.id/2012/06/membuat-dan-mendesain-buck-boost.html>, Diakses tanggal 23 Agustus 2017; 14.18.
- [12] Anonim, Akurasi dan Presisi, <https://apaperbedaan.com/akurasi-dan-presisi/>, Diakses tanggal 17 Januari 2018; 20:21.
- [13] Anonim, Perbedaan Akurasi dan Presisi dalam Pengukuran, <http://usaha321.net/perbedaan-akurasi-dan-presisi.html>, Diakses tanggal 17 Januari 2018; 20:56.