

**STUDI LITERATUR PENGARUH KENDALI BOOST KONVERTER MENGGUNAKAN KONTROL PID
PADA KECEPATAN MOTOR DC**

Risqi Wahyu Hamdani

S1Teknik Elektro, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: risqiwahyuhamdani@mhs.unesa.ac.id

Subuh Isnur Haryudo

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: subuhisnurharyudo@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan pada bidang teknologi saat ini sangat pesat di berbagai belahan dunia. Salah satu perkembangan teknologi diantaranya adalah di bidang sistem kendali. Dalam sistem kendali salah satu yang dikendalikan kecepatan dari motor Dc sebagai salah satu sistem penggerak dalam suatu sistem. Dalam mengendalikan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan cara mengendalikan daya yang masuk ke motor DC. Daya yang masuk ke motor DC dapat diatur melalui catu daya. Pengaturan catu daya dapat dilakukan dengan berbagai hal. Salah satu pengaturan adalah menggunakan mikrokontroler. Kendali dengan mikrokontroler bisa menggunakan berbagai cara, salah satunya menggunakan PID untuk menghasilkan keluaran yang lebih konstan. Tujuan artikel berikut yakni mengetahui hasil pengujian sistem kendali boost konverter menggunakan kontrol PID untuk mempengaruhi kecepatan putar motor DC, arus keluaran dari boost konverter itu sendiri.. Dalam artikel ini menggunakan metode studi literatur. Hasil yang didapatkan bahwa penggunaan PID sebagai kendali *boost converter* dapat mempengaruhi hasil luaran dari *boost converter*. Hal ini dibuktikan dengan nilai *overshoot* lebih kecil, semula sebesar 99% menjadi 0,041%. Dan tegangan luaran turun, yang semula 120V saat *close-loop*, turun menjadi 119,1V pada *open-loop*. Penggunaan PID untuk motor dc dan keluaran *boost converter* menyebabkan nilai tanggapan transien yaitu nilai *rise time*, *peak time* dan *delay time* akan meningkat. Namun, nilai *overshoot* dapat direduksi dengan kontrol PID, serta menghilangkan *ripple* dari motor DC, arus luaran *boost converter*, waktu untuk mencapai posisi *steady state setting time* meningkat dan nilai *ripple* sangat rendah pada tegangan luaran *boost converter* 0,05 V.

Kata Kunci: Kendali PID, *Boost Converter*, Motor DC

Abstract

The development of technology is currently very rapid in various parts of the world. One of the technological developments is in the field of control systems. In the control system, one of which is controlled by the speed of the Dc motor as one of the driving systems in a system. In controlling the speed of a DC motor, it can be done by controlling the power that goes to the DC motor. The power that goes to the DC motor can be regulated via the power supply. Power supply settings can be done in various ways. One of the arrangements is to use a microcontroller. Control with a microcontroller can use various ways, one of which is using PID to produce a more constant output. The purpose of the following article is to find out the test results of the boost converter control system using PID control to influence the rotational speed of the DC motor, the output current of the boost converter itself. In this article, we use the literature study method. The results showed that the use of PID as a boost converter control can affect the output of the boost converter. This is evidenced by the smaller overshoot value, from 99% to 0.041%. And the output voltage drops, which was originally 120V at the *close-loop*, drops to 119.1V at the *open loop*. The use of PID for dc motors and boost converter output causes the transient response value, namely the value of *rise time*, *peak time* and *delay time* to increase. However, the overshoot value can be reduced with PID control, as well as eliminating the ripple from the DC motor, the output current of the boost converter, the time to reach the steady state position, the setting time is increased and the ripple value is very low at the output voltage of the boost converter of 0.05 V.

Keywords: PID control, Boost Converter, DC Motor

PENDAHULUAN

Pada saat ini, perkembangan pada bidang teknologi dan sistem kendali sangat pesat sekali, dan peralatan maupun perlengkapan elektronik telah berubah menjadi bagian yang tidak bisa dipisahkan dalam kehidupan individu sehari-hari. Salah satunya yakni pemanfaatan output dari catu daya untuk mempengaruhi putaran motor DC sebagai penggerak dalam suatu sistem. Pengembangan sistem kendali untuk motor khususnya motor DC sangat penting untuk dilakukan guna menghasilkan performa motor yang baik.

Untuk menggerakkan motor DC diperlukan *power supply* atau biasa disebut dengan catu daya, catu daya di bedakan menjadi 2 yaitu catu daya linier dan catu daya *switching*. Sistem catu daya *linier* kurang efisien apabila dibandingkan dengan catu daya yang menggunakan sistem *switching*. Hal tersebut dikarenakan daya disipasi yang rendah pada saat proses penyaklaran berlangsung. Pada saat saklar tidak bekerja pada daerah aktif, maka tidak terjadi terbuangnya energi dan begitu pula sebaliknya. Catu daya *linier* membutuhkan energi yang lebih banyak karena selalu bekerja pada daerah aktif.

Sistem catu daya linier masih dapat digunakan pada level daya yang rendah dan untuk sistem level daya tinggi, dibutuhkan sistem catu daya *switching*. Besarnya frekuensi yang meningkat pada sistem catu daya *switching* dapat menghasilkan riak arus yang lebih rendah dan kepadatan daya yang lebih besar.

Dalam aplikasi elektronika, catu daya mikrokontroler (arduino UNO) menggunakan tegangan 5 volt dan output mikrokontroler yang berupa Motor DC membutuhkan tegangan catu daya yang lebih besar dan stabil dari pencatu mikrokontroler. Untuk itu dibutuhkan rangkaian agar dapat memberikan tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan masukan. Salah satu sistem catu daya yang menggunakan metode *switching* yakni konverter DC-DC. Konverter DC-DC mengonversi listrik arus searah (DC) ke bentuk listrik arus searah (DC) juga namun dengan level tegangan berbeda. Sistem pengaturan konverter tersebut dapat dilakukan dalam operasi frekuensi tetap yaitu mengatur lebar pulsa menggunakan PWM (Pulse Width Modulation) dengan periode tetap dan waktu on yang berubah-ubah, maupun dalam operasi frekuensi variable yaitu metode frekuensi modulation dengan frekuensi dan periodenya yang berubah ubah.

Penghubung antara motor dengan kendali ialah H-bridge, tetapi H-bridge memiliki berbagai kekurangan seperti perubahan torsi yang cepat dan beban yang diterima oleh roto dan stator yang dapat memperpendek masa pakai motor DC. (Cahyo, Kurniawan, & Wibowo., 2018:16).

Sehingga DC to Dc converter menjadi pilihan terbaik untuk menjadi penghubung antara motor dengan

pengendali, dengan perkembangan zaman berbagai macam pengendali dicoba untuk motor dc dengan harapan bisa memberikan kinerja optimal bagi motor dc.

Salah satu kontrol yang digunakan dalam pengendalian putaran motor adalah PID (*Proporsional Integral Derivatif*). Kontroler PID juga termasuk salah satu metode pengendalian yang digunakan agar output atau luaran yang dihasilkan konstan. Setiap kelebihan dan kekurangan dari masing-masing kontroler P, I, dan D mampu untuk saling menutupi kelemahan dengan mengombinasikan P, I, maupun D secara paralel sehingga menjadi kendali *proporsional integral derivatif* (*Controller PID*). Dengan memanfaatkan kontrol PID yang parameternya bisa ditentukan bisa memberikan jaminan untuk motor memberi kinerja yang optimal (Barhate dan Ingle., 2016:699)

Penelitian selanjutnya menggunakan kontroler PID digital untuk mengontrol interleaved boost konverter yang diyakini mampu memberikan berbagai keuntungan diantaranya rendahnya ripple, tinggi efisiensi dan lebih ringan. Untuk kontroler PID sendiri didesain menggunakan FPGA (Swamy, dkk. 2013:99).

Metode kontrol motor dc yang lain ialah metode PI dimana pada metode ini tidak menggunakan *Derivatif* sehingga hanya menggunakan kontrol *proportional* dan kontrol *Integral* penggunaan kontrol PI ini berguna untuk menentukan presisi suatu instrumen dengan cara meminimalkan kesalahan nilai waktu dengan melakukan penyetelan pada variabel kontrol. (Pratama, dkk. 2020: 7).

Adapun metode lain yang digunakan adalah fuzzy logic controller dimana pada controller ini memanfaatkan kecepatan aktual motor sebagai input dan kecepatan referensi akan dibandingkan sehingga memberikan nilai error dimana error tersebut yang selanjutnya menjadi input, keuntungan metode ini adalah motor mampu mempertahankan kecepatan walau nilai torsi diubah. (Ramdhan, dkk. 2015:10).

Selain berbagai metode tersebut terdapat pula pengendalian kecepatan motor dc menggunakan buck boost konverter hal ini dilakukan karena buck boost konverter bisa meningkatkan kecepatan dan efisiensi sistem motor dc melalui berkurangnya kerugian *switching* dan daya serta memperbaiki faktor daya dan mengurangi hilangnya yang disebabkan oleh arus harmonisa dan daya reaktif. (Ajitmo dan Robandi., 2017:74)

Dan yang terakhir merupakan interleaved boost converter penelitian kali ini dilakukan dengan cara paralel dua buah boost konverter dengan sebuah kontrol hal ini dilakukan karena pada boost konverter konvensional arus input dan output selalu menghasilkan riak yang cukup besar, riak tersebut merupakan masalah yang cukup besar bagi kinerja motor dc. (Haris, Samosir, dan Mazta., 2016:21)

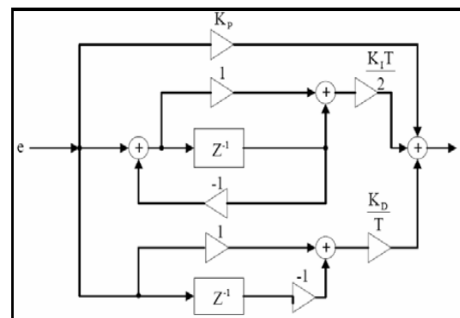
METODE PENELITIAN

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Swamy, dkk. (2013)

Interleaved boost konverter dua fase adalah 2 buah boost konverter yang dihubungkan secara paralel di dalam rangkaian dengan rincian konverter pertama dihubungkan dengan induktor, switch, dan dioda begitupun konverter kedua sehingga terdapat 2 induktor, 2 switch dan 2 buah diode meskipun kedua konverter tersebut dihubungkan secara paralel namun sebenarnya konverter tersebut berkerja dalam mode interleaved. Kedua konverter dihubungkan dengan sebuah kapasitor pada output sehingga akan menghasilkan keluaran yang ideal.

.Gambar 1. Struktur PID digittal
(Sumber : Swamy, 2013)



Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa menggunakan digital PID memberikan respon yang sangat baik bagi boost konverter karena untuk stabilizing hanya membutuhkan waktu 250 μ s sementara PID biasa membutuhkan waktu 3,1ms dan transien output berubah dari 32V menjadi 28V hanya dalam waktu 1ms dengan ripple sebesar 0,5V.

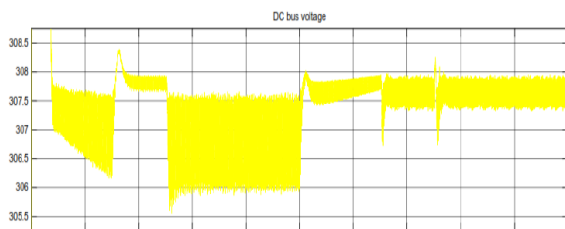
Penelitian Mr. Namdev K. Barhate dan Prof K.S. Ingle pada tahun 2016 yang berjudul “Design and Development of Digital PID Controller For Brushless DC Motor Drive System” barhate dan ingle melakukan penelitian terhadap desain dan pengembangan digital PID untuk driver motor dc brushless. Pada penelitian ini mereka mengembangkan sistem kontrol digital PID yang mengutamakan kepuasan dalam performa motor dc hal ini berlandaskan ketidakpuasan pada penggunaan metode PWM karena pada metode ini hanya bisa menentukan karakteristik tertentu pada sistem tanpa bisa mengatur spesifikasi final dari sistem tersebut.

Pada modul pengukur kecepatan motor dc brushless menggunakan komparator analog yang dihubungkan dengan mikrokontroler, hal ini memungkinkan karna kecepatan feedback dikirimkan langsung menuju sensor.

273

memanfaatkan sensor yang terdapat pada sensor hall, selain itu sensor yang berguna untuk mengarahkan kecepatan motor akan menjumlah kecepatan motor dalam satuan waktu tertentu dan kecepatan ini akan menjadi kecepatan referensi dan memiliki beda arus dari V_o ke V_i .

Pada saat awal penyalaan kecepatan rotor motor dc akan sangat pelan dikarenakan menunggu mosfet terkonduksi secara penuh, sementara untuk kecepatan torsi motor tergantung pada medan magnet yang tercipta dan medan magnet ini dapat diatur menggunakan PWM yang bisa membatasi rata – rata tegangan dan arus yang melalui coil. Pada modul power sensiri menunjukkan tiap step switching yang terjadi pada mosfet.



Gambar 2. Tegangan boost konverter motor dc
(Sumber: Barhate, 2016)

Penelitian Pratama dkk (2020)

Penelitian Gita arya pratama, M. Krisna Ramadhani A., Rio Winas S.B., Belly Y.D., dan Iradiratu D.K. yang berjudul “Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Double Boost Converter Berbasis PI” melakukan penelitian yang berfokus menyelesaikan masalah konversi tegangan DC menjadi bentuk tingkat tegangan DC yang lain. Pada penelitian ini mereka menyelesaikan permasalahan tersebut menggunakan double boost konverter dengan kontroler PI yang mampu memberikan tegangan output yang *adjustable* dan konstan.

Pada penelitian kali ini membangun sistem yang terdiri dari double boost converter guna memantapkan kestabilan tegangan keluaran dan PID berguna untuk mengatur duty cycle mosfet dan hasil yang disajikan merupakan kestabilan kecepatan serta reaksi double boost konverter terkontrol dan tidak terkontrol sehingga bisa memberikan perbandingan yang jelas. Berikut data hasil penelitian:

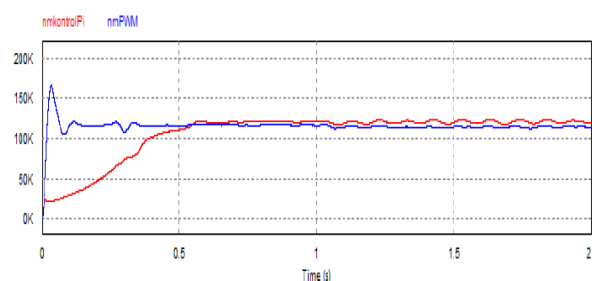
Tabel 1. Hasil Percobaan kecepatan motor dengan double boost konverter kontrol PID

Status	Kecepatan	Error Steady State	Steady State time	Overshoot
kontrol PI				

Tanpa Beban				
Tanpa kontrol	2000rpm	-	0,34s	3,37Mp
Terkontrol	2000rpm	4,50%	0,49s	-
Beban 0,1Tc				
Tanpa Kontrol	2400rpm	-	0,36s	3,812Mp
Terkontrol	2400rpm	-	0,56s	-
Beban 0,2 Tc				
Tanpa Kontrol	2200rpm	-	0,35s	3,595Mp
Terkontrol	2200rpm	33%	0,55s	-

(Sumber : Pratama, 2020)

Pada percobaan terlihat perbandingan dan hubungan antara kecepatan motor dc dengan double boost konverter yang terkontrol oleh PI dan yang tidak dikontrol.



Gambar 3. Kecepatan motor dc brushless tanpa beban
(Sumber: Pratama, 2020)

Pada saat motor tanpa beban untuk menggunakan double boost konverter yang terkontrol oleh PI motor mengalami start awal yang sangat halus sementara saat menggunakan double boost konverter tanpa kontrol PI motor mengalami overshoot 3.812Mp.

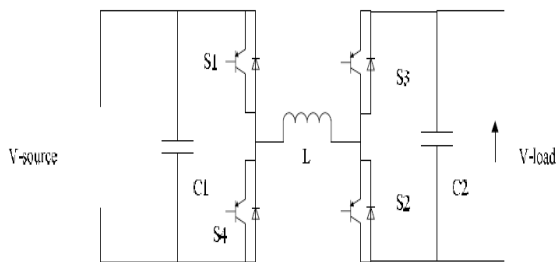
Penelitian Ramdan, dkk (2015)

Penelitian M. Taufiq Ramadhan, D.C. Riawan, dan Imam Robandi yang berjudul “ Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Mobil Listrik Menggunakan Bidirectional Buc-Boost Cascade Converter Berbasis Fuzzy Logic Controller” pada penelitian kali ini peneliti memfokuskan diri untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh motor dc untuk mobil listrik dimana pada mobil listrik masih memiliki masalah dalam hal kecepatan aktual dan efisiensi energi. Peneliti menggunakan *Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter* untuk pengaturan kecepatan motor DC secara bidirectional yang berarti konverter ini mampu digunakan saat berjalan maupun saat motor melakukan pengereman regeneratif, bidirectional konverter ini bermanfaat untuk mengurangi energi yang terbuang percuma dalam dua kegiatan tersebut.

Pada penelitian ini akan menggunakan baterai lead – acid berkapasitas 120V sementara beban yang

digunakan memiliki daya 760W dengan tegangan kerja 240V berupa motor dc dengan penguatan shunt untuk menutup selisih tegangan antara sumber dengan tegangan beban maka output sumber harus melalui biderictional buck boost cascade converter guna menaikkan tegangan sumber untuk mencapai tegangan kerja beban motor dc pada saat motoring dan mampu menurunkan menjadi 120V pada saat pengereman regeneratif. Kemampuan konverter dalam menyesuaikan tegangan keluaran yang dikeluarkan didapat melalui pengubahan duty cycle dari switch IGBT di dalam konverter tersebut.

Cara kerja fuzzy logic yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan kecepatan aktual motor sebagai feedback selanjutnya kecepatan referensi akan dibandingkan dengan feedback sehingga akan mendapat sebuah nilai dimana nilai tersebut merupakan nilai error yang selanjutnya nilai error akan dijadikan inputan kontroler fuzzy hal ini akan dilakukan secara terus menerus walau nilai error sudah sangat kecil. Pemicu switch IGBT pada bidirectional buck-boost cascade converter merupakan sinyal output dari kontroler fuzzy logic tersebut.



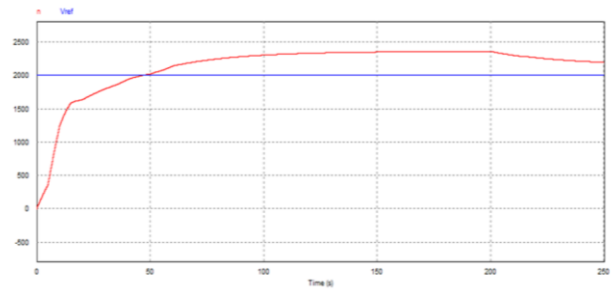
Gambar 4. Konverter yang digunakan
(Sumber: Ramdan, 2015)

Pada gambar 4 terdapat 4 buah switch, 2 buah kapasitor dan sebuah induktor, fungsi dari masing – masing komponen sebagai berikut:

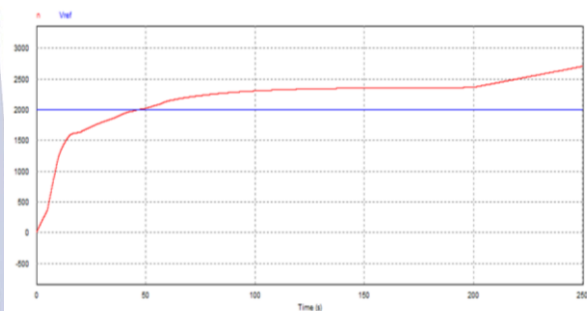
Tabel 2. Fungsi switch konverter

Mode	Switch 1	Switch 2	Switch 3	Switch 4
Motoring	switch utama	mode boost	Mode buck	-
Pengereman Regeneratif	-	Mode buck	Switch utama	Mode boost

Sementara nilai induktor bermanfaat untuk mempengaruhi ripple pada keluaran dan kapasitor berguna untuk memperhalus nilai tegangan pada beban.



Gambar 5. Kecepatan Motor saat motorig jalan
menanjak
(Sumber : Ramdan, 2015)



Gambar 6. Kecepatan aktual saat pengereman regresif
(Sumber: Ramdan, 2015)

Pada masing – masing percobaan didapat hasil yang memuaskan karna sistem mampu bekerja secara baik dengan mempertahankan kecepatan aktual motor pada sekitar 2000rpm.

Penelitian Ajiatmo dan Robandi (2017)

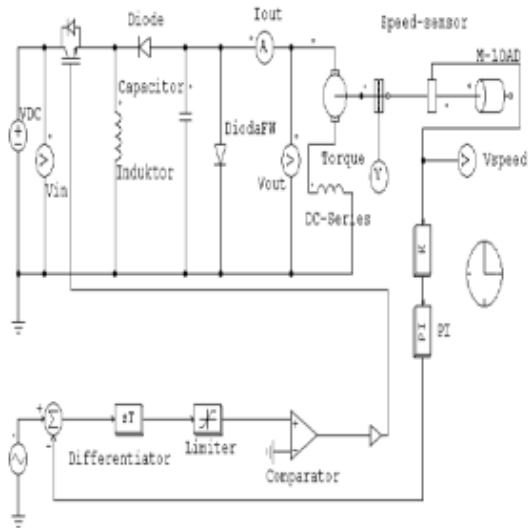
Pada penelitian yang dilakukan oleh Dwi Atjiatmo dan Imam Robandi dengan judul “Analisa Pengendalian Kecepatan DC Motor Berbasis Buck-Boost Konverter” mereka menekankan pada pengurangan kerugian pada saat switching dan biaya sehingga meningkatkan kecepatan dan efisiensi sistem driver motor DC. Pada penelitian ini peneliti menggunakan motor dc brushless dikarenakan pada motor dc brushless memiliki berbagai kelebihan dari pada motor dc konvensional diantaranya memiliki komutator mekanik, memiliki kepadatan torsi serta efisiensi dan ukuran yang relatif lebih compact.

Sementara pada konverter pemilihan konverter buck-boosts dikarenakan konverter ini mampu memperbaiki faktor daya dan mengurangi daya – daya yang hilang. Dengan penggunaan konverter ini kecepatan dan efisiensi dari sistem motor dc akan meningkat secara signifikan serta memberikan daya nominal pada motor dc serta berguna untuk mengatur kecepatan sistem motornya.

Pada teknik konversi dc – dc konverter secara garis besar memiliki tiga topologi catu daya switching yang umum digunakan yaitu buck, boost dan buck-boost. Topologi ini mengacu pada bagaimana sistem kerja

induktor keluaran, kapasitor keluaran dan sakelarnya. Sementara komponen yang sering digunakan untuk switching daya adalah mosfet dan diode dan adapula opsi lain seperti IGBT, BT atau thyristor.

Setiap masing – masing konverter memiliki karakteristik dan fungsi tersendiri. Buck konverter memiliki karakteristik untuk mengurangi tegangan dc sesuai dengan konversi rasionya, boost konverter memiliki karakteristik menghasilkan tegangan output V yang lebih besar dari tegangan input dengan rasio konversi $M(D) = 1/(1-D)$. Dan yang terakhir adalah buck - boost konverter dimana cara kerjanya tegangan output dan input daya dihubungkan secara bergantian dengan melintasi induktor. Fungsi konverter ini ialah membalikkan polaritas, tegangan, dan dapat menambah maupun mengurangi tegangan suatu rangkaian.



Gambar 7. Rangkaian percobaan buck – boost konverter dc motor berbeban mekanis
(Sumber: Ajiatmo, 2017)

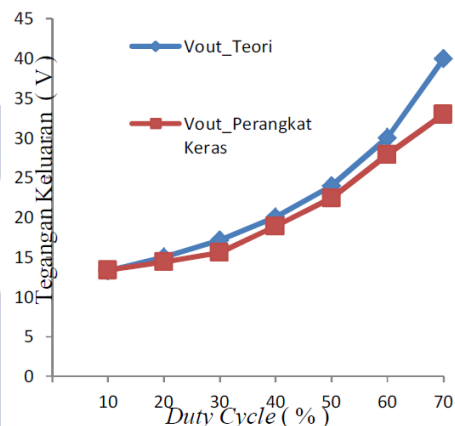
Pada berbagai percobaan buck-boost konverter baik dalam keadaan openloop maupun closeloop pada penelitian memberikan sebuah hasil yakni buck-boost konverter sangat berguna untuk pengontrolan motor dc dan sangat mudah dalam pengontrolan karena memanfaatkan penalaan parameter PWM serta pada percobaan didapati hasil yakni pada percobaan openload motor dc mencapai kestabilan pada 4.181 sekon dengan kecepatan motor dc mencapai -2,499rpm sementara pada saat close loop kestabilan tercapai pada 2.308sekon dengan kecepatan 6.702rpm

Penelitian Haris, dkk (2016)

Pada penelitian haris dkk dengan judul “Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino” ini menekankan pada peniadaan atau pengurangan ripple secara signifikan dari output yang

dihasilkan oleh konverter. Pengurangan ripple ini menggunakan interleaved boost converter dimana terdapat dua buah boost converter yang dihubungkan secara paralel dimana dengan penghubungan paralel ini dapat mengurangi ripple pada arus masukan dan tegangan output.

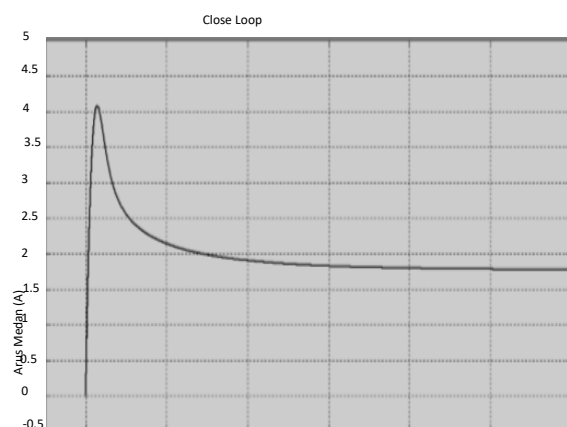
Pengujian pada penelitian kali ini menggunakan pemberian duty cycle yang bervariasi terhadap boost konverter dengan nilai antara 10% sampai 70% sehingga akan terlihat ripple masukan dan kelauran pada tiap duty cycle



Gambar 8. Hubungan tegangan output dengan duty cycle
(Sumber : Ajiatmo, 2017)

Pada gambar 8 terlihat hubungan antara tegangan output dengan duty cycle yang bermacam – macam dari grafik dapat terlihat semakin tinggi duty cycle maka akan semakin berbeda antara vout secara teori dengan vout perangkat keras, tetapi grafik tersebut membentuk kurva yang saling berhimpitan sehingga boost konverter sesuai dengan teori.

Dengan penambahan PID pada boost konverter maka akan semakin memperbaiki ripple yang dari rangkaian seperti yang terlihat pada gambar 9. Dengan penjabaran Memiliki t_d sebesar 14,3ms dan nilai t_r sebesar 20,8ms nilai puncak (t_p) sebesar 142,2ms nilai overshoot M_p sebesar 129,9% dengan ripple sebesar 0.



Gambar 9. Kurva arus medan motor close loop

Tabel. 3 Transien motor close loop

Kinerja Motor dc	Parameter Feedback Transient					
	Td (ms)	Tr (ms)	Tp (ms)	Mp (%)	Ts (s)	ripple
Kecepatan Putar	329,1	485	4885	0	3,9	0
Arus Armatur	14,3	30,8	142,2	129,9	5,8	0
Arus Medan	14,3	30,8	142,2	129,9	5,8	0

(Sumber : Haris, 2016)

Analisa hubungan konverter dengan kontrol dalam mengatur motor dc

Berdasarkan dari berbagai penelitian diatas menunjukkan berbagai hasil dan berbagai nilai untuk masing – masing penelitian dengan 2 jenis motor dc yang paling banyak digunakan yakni motor dc brush dan motor dc brushless. Dari kesemua penelitian dirangkumlah dalam tabel berikut:

Tabel 4. Data tiap penelitian

NO	Penelitian	konverter	Kendali	hasil
1	Swamy, dkk	two phase interleaved boost converter	Digital PID	waktu yang dibutuhkan untuk stabilizing hanya 250uS, dengan ripple hanya sebesar 0,5 maksimum kecepatan rotor 300m/s
2	Barhate dan Ingle		Digital PID	Torsi motor sangat fleksibel.

3	Pratama, dkk	double boost converter	PI	eror state mencapai 4,5% pada beban 0,2Tc dan 2400rpm
---	--------------	------------------------	----	---

4	ramdan, dkk	Bidirectional Buck-Boots Cascade Converter	Fuzzy Logic	konverter berkerja dengan baik mampu menjaga motor berkerja pada 2000rpm di tiap mode pada openloop motor stabil pada 4.181 detik dengan kecepatan -2,499 dan closeloop pada 2.308 detik dan 6.702rpm
5	ajiatmo dan robandi	buck-boots		menghasilkan td sebesar 14,3ms, nilai tr sebesar 20,8ms tp 142,2 overshoot 129,9% dan 0 ripple
6	Haris, dkk	Interleaved boots	PID	

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian dan hasil analisisnya dapat disimpulkan bahwa untuk membuat sistem motor yang baik penghubung antara kontrol dengan motor sebaiknya menggunakan konverter, adapun konverter yang digunakan disesuaikan dengan sistem yang akan kita buat seperti interleaved yang memberikan keunggulan dalam mengatasi ripple adapun bidirectional buck – boost cascade yang baik dalam mengatur kecepatan motor sesuai dengan rpm yang kita inginkan.

Untuk kontrol sendiri sangat banyak yang digunakan mulai dari digital PID yang sangat responsif dan memiliki akurasi yang tinggi serta fuzzy logic controler yang sangat fleksibel dan bisa menyesuaikan dengan segala kondisi menyesuaikan dengan sistem dan kebutuhan.

Untuk mengatasi ripple kombinasi paling baik adalah menggunakan boots converter dengan kontrol PID seperti pada penelitian Haris yang mampu memberikan ripple 0 pada saat close loop dengan PID.

DAFTAR PUSTAKA

A.E. Fitzgerald, Kingsley Charles, Umans D Stephen, dan Achyanto Djoko. 1997. Mesinmesin listrik-edisi keempat. Jakarta. Erlangga.

Ajiatmo, D., & Robandi, I. (2018). *Analisis Pengendalian Kecepatan DC Motor Berbasis Buck-Boots Konverter*. Agustus. 2019.

Barhante, N.K., & Ingle, P. K. S. (2016). *Design and Development of Digital PID Controller for Brushless DC Motors Drivers System*. 5(3), 699 – 703.

- Boylestad. 2003. *"Introductory Circuit Analysis, Tenth edition"*. Prentice Hall Pearson Education International.
- Cahyo, A. D., Kurniawan, E., & Wibowo, A. S. (2018). *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)*. 5(1), 16–21.
- Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), 2017
- F.D. Murdianto, A. S.. L. Hermawan, A. R. Nansur and R. E. Setiawan, "Comparison method of flower pollination algorithm, modified particle swarm optimization and perturb & observe in MPPT coupled inductor sepic converter on DC microgrid isolated system", International
- F.D. Murdianto, M. Z. Efendi, R. E. Setiawan and A. S.. L. Hermawan, "Comparison method of MPSO, FPA, and GWO algorithm in MPPT SEPIC converter under dynamic partial shading condition", International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), 2017
- Fanani A.Z., Ashari M., Yuwono T. 2014. "Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik". JURNAL TEKNIK POMITS.
- H. M Mallikarjuna Swamy, K.P. Guruswamy, DR. S.P. Singh. 2013. Design And Implementation Of Two Phase Interleaved DC – DC Boost Converter With Digital PID Controller. International Journal of Electrical Engineering (IJEET). Volume 3. ISSN: 2231 - 5284.
- Hilmi, Wildan. 2016. *"Pengendali Kecepatan Motor DC"*. Yogyakarta: UGM.
- John, Oguntoyinbo. 2009. *PID Control of Brushless DC Motor and Robot Trajectory Planning and Simulation With Matlab/Simulink*. Vasa Yrkeshogskoa : University of Applied Sciences.
- Katsuhiko, Ogata. 2010. *Modern Control Engineering : 5th edition*. New York : Prentice-Hall Inc.
- M. Marimuthu, A. Kamalakkannan, M. Karthick. 2012. "Interleaved Boost Converter with MPPT Controller for Photovoltaic System". Halaman 70-76. ISSN 2230-7656 (c) MIT Publications.
- Mazta, M. A., Samosir, A. S. & Haris, A.(2016). *Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino*.Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro
- Mr. Namdev K. Barhate 1 Prof. K. S. Ingle, "Design and Development of Digital PID Controller for Brushless DC Motor Drive System" International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE) Volume 5, Issue 3, March 2016.
- Muruganandhan, S., dkk. 2013. *LabVIEW-NI ELVIS II based Speed Control of DC Motor*. Tamilnadu, India: Kalaingar Karunanidhi Institute of Technology.
- Permana, Fikri Yoga. 2013. "Pengaturan Kecepatan spindle pada retrofit mesin Bubut CNC Menggunakan Kontroler PID". Surabaya: ITS
- Pratama, G. A., Ananta, M. K. R., & Budi, R. W. S. (2020). *Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Double Boots Converter Berbasis PI*. Cyclotron : Jurnal Teknik Elektro
- Rakhmawati R, Wahjono E, Suhariningsih, Murdianto F.D, Andriawan D,"Design and Implementation Boost Converter with Constant Voltage in Dynamic Load," International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), 2017
- Ramadhan, M.T., Riawan, D. C., & Robandi I. (2015). *Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Mobil Listrik Menggunakan Bidirectional Buck-Boots Cascade Converter Berbasis Fuzzy Logic Controller*. Jurnal Teknik ITS
- Suyanto, Murdianto F.D, P. Ontoseno, S. Adi, S. Rony,"Wind-PV hybrid system modeling using bidirectional converter with MPPT-dual adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) in microgrid isolated system," Journal of Engineering and Applied

Sciences, vol. 11, pp. 2353-2359, December 2016.

Swamy, H. M. M., Guruswamy, K. P., Singh, S. P.(2013).
Design And Implementation of Two Phase Interleaved DC-DC Boots ConverterWith Digital PID Controller. International Jurnal of Electrical and Electronics Engineering.

2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 10, Issue 3
Ver. IV (May – Jun. 2015), PP 13-17

