

Kendali Fuzzy Logic - Interleaved Boost Converter pada Aplikasi Motor DC

Mentari Putri Jati¹, Gamar Basuki², Hasnira³

¹Teknik Elektronika, Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika dan Informatika, Fakultas Teknik, UNY

²Teknik Elektro, Pascasarjana, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

³Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam

E-mail: mentariputrijati@uny.ac.id

ABSTRACT

DC motor is one type of electric motor that is often used. With today's advances in technology, the use of DC motors is required to have characteristics that are reliable and efficient. To obtain reliable and efficient characteristics, many designs of electric driving converters on DC motors have been carried out. An electric driving converter that is being developed and will be used as a DC motor drive is the Interleaved Boost Converter. Fuzzy logic controller is an effective control applied to linear and nonlinear systems with fast operating time. The results of the application of the DC motor application using the Interleaved Boost Converter and fuzzy logic as the control system will be observed the characteristics of the DC motor such as armature current, field current, speed, and torque. So that with the use of the Interleaved Boost Converter and FLC, it is expected to obtain good characteristics in DC motors

Keywords: fuzzy logic, Interleaved Boost Converter, DC motor.

ABSTRAK

Motor DC adalah salah satu jenis motor listrik yang sering digunakan. Dengan kemajuan teknologi saat ini, penggunaan motor DC dituntut untuk memiliki karakteristik yang handal dan efisien. Untuk memperoleh karakteristik yang handal dan efisien telah banyak dilakukan perancangan konverter pengemudian elektrik pada motor DC. Konverter pengemudian elektrik yang sedang berkembang dan akan digunakan sebagai penggerak motor DC yaitu *Interleaved Boost Converter*. Pengendali *fuzzy logic* merupakan kendali yang efektif diterapkan pada sistem linier maupun nonlinier dengan waktu operasi yang cepat. Hasil penerapan aplikasi motor DC dengan menggunakan *Interleaved Boost Converter* dan *fuzzy logic* sebagai sistem kendalinya akan dilakukan pengamatan karakteristik motor DC seperti arus jangkar, arus medan, *speed*, dan torsi. Sehingga dengan penggunaan *Interleaved Boost Converter* dan FLC diharapkan dapat memperoleh karakteristik yang baik pada motor DC.

Kata kunci: Fuzzy logic, Interleaved Boost Converter, motor DC.

PENDAHULUAN

Penggerak mesin listrik didesain untuk bisa menjawab masalah dan tantangan yang ada dalam pengemudian elektrik [1]. Masalah dan tantangan yang sering terjadi pada penerapan pengemudian elektrik adalah sistem penggerak yang didesain tidak berfungsi dengan baik pada sistem yang memiliki non linearitas tinggi. Salah satu aplikasi pengemudian elektrik adalah untuk bidang industri, transportasi, peralatan rumah

tingga, peralatan kerja, robotik, dan lain – lain [1]–[4]. Tak terkecuali untuk kendali kecepatan pada mesin listrik atau motor AC maupun DC. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengendalian kecepatan adalah karekteristik motor tersebut agar mengetahui respon sistem ketika diberi pengendali. Pada motor DC bagian medan dan jangkar terpisah sehingga dapat meningkatkan respon pengendalian dari kecepatan dan torka secara independen. Tipe motor DC penguat

terpisah banyak diterapkan sebagai aplikasi kecepatan variabel [2]–[6].

Pengemudian motor DC dilakukan dengan variasi tegangan jangkar, fluks medan, dan tahanan jangkar [3], [4]. Berdasarkan prinsip kerja dari motor DC penguat terpisah, arus jangkar sebanding dengan torka yang dihasilkan sedangkan arus medan sebanding dengan besar fluks pada rangkaian [7]–[9].

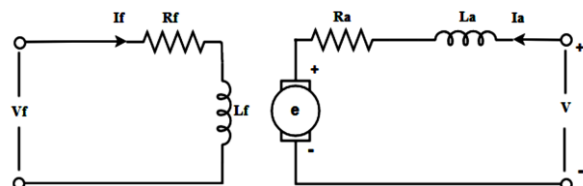
Kendali motor DC lainnya dengan mengubah konstruksi jangkar yang mana berpengaruh pada kecepatan dan torka [10]. Namun pengendalian motor DC yang banyak digunakan merupakan pengaturan tegangan jangkar dengan konverter daya karena keandalan tinggi.

Konverter penggerak motor DC mempunyai beberapa jenis mulai dari *buck*, *boost*, *buck – boost*, *parallel buck*, *interleaved boost*, *chopper*, dan lain-lain [11]–[16]. Tipe konverter daya tersebut mempunyai kelebihan masing – masing. Disamping itu, pengendali sistem seperti kendali konvensional, *fuzzy logic*, *linear quadratic regulator* PID (LQR – PID), *artificial neural network* (ANN), *increment conductance*, *predictive control*, dan *sliding mode control* (SMC) telah efektif dikombinasikan dengan *interleaved boost converter* (IBC) untuk meningkatkan efisiensi, faktor daya, dan stabilitas sistem serta meminimalisir adanya riak [17]–[19].

Pengendali fuzzy logic merupakan kendali yang efektif diterapkan banyak sistem linier maupun nonlinier dengan waktu operasi yang cepat [6], [14], [20]. Pada makalah ini membahas penggunaan *fuzzy logic - interleaved boost converter* (FL-IBC) sebagai penggerak motor DC penguat terpisah. Karakteristik motor DC yang dianalisis antara lain respon kecepatan, tegangan, arus jangkar, arus medan, torsi, arus jangkar terhadap kecepatan, arus medan terhadap kecepatan, arus jangkar terhadap torsi, arus medan terhadap torsi, dan torsi terhadap kecepatan untuk mengetahui keandalan mesin listrik yang digunakan pada aplikasi penyiraman kecambah.

METODE

Motor arus searah (motor dc) sudah ada lebih dari 1000 tahun yang lalu. Memiliki kehandalan berupa nilai torsi yang besar serta kecepatan yang mudah dikendalikan. Motor DC penguat terpisah merupakan salah satu dari jenis motor DC yang dapat menambah kemampuan daya dan kecepatan karena memiliki fluks medan (Φ) yang dihasilkan oleh kumparan medan, yang terletak secara terpisah dan mempunyai sumber pembangkit tersendiri berupa tegangan DC sehingga jenis motor DC ini sangat memungkinkan untuk dapat membangkitkan fluks medan (Φ) bila dibandingkan dengan motor DC magnet permanen. Pada Gambar 1 ditunjukkan rangkaian ekuivalen dari motor DC penguat terpisah [23].



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah

Persamaan dinamis medan motor DC dapat dilihat pada persamaan (1), (2), dan (3) [24].

$$V_a = e + R_a + i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (1)$$

$$T_m = \frac{d^2 \omega(t)}{dt^2} + \beta \frac{d \omega(t)}{dt} \quad (2)$$

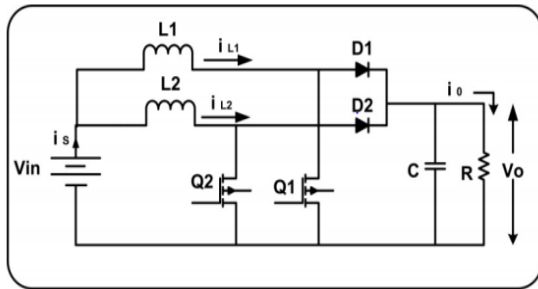
$$e = e(t) = K_b \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3)$$

dengan R_a adalah tahanan jangkar, L_a adalah induktansi jangkar, i_a adalah arus jangkar, V_a adalah tegangan jangkar, e adalah *electromagnetic force* (emf), K_b adalah konstanta emf, T_m adalah torsi motor, $\omega(t)$ adalah kecepatan sudut poros, β adalah konstanta gesekan motor dan beban.

Boost converter merupakan konverter DC - DC dengan tegangan keluaran tinggi yang mana memiliki kekurangan ripple atau riak gelombang arus yang dihasilkan cukup besar. Riak tersebut dapat mengurangi efisiensi dan performa dari konverter, sehingga metode ini dikembangkan lagi dengan topologi yang lainnya seperti teknik *interleaving*. *Interleaved boost* DC - DC

converter terdiri dari dua unit *boost converter* yang dihubungkan secara paralel, yang mana dikontrol oleh dua sinyal kontrol dengan perbedaan fasa sebesar 180° diantara kedua sinyal kontrolnya [25].

Blok diagram dari *Interleaved Boost Converter* ditunjukkan pada Gambar 2. *Interleaved Boost Converter* berisi induktor L1 secara paralel dengan induktor L2, lalu Q1 secara paralel dengan saklar Q2, dioda D1 paralel dengan dioda D2, dengan demikian membentuk dua saluran paralel antara sirkuit input dan output. Semua komponen identik digunakan untuk sirkuit untuk mendapatkan operasi *interleaving*. Dua saklar sinyal yang keluar dari fase adalah 180°.



Gambar 2. Blok diagram *Interleaved Boost Converter*

Model matematika dari sistem ini dapat memudahkan dalam kontrol sistem. Oleh karena itu, diturunkan terlebih dahulu persamaan DC / DC *boost converter* sebagai hukum dasar.

$$L \frac{di_L(t)}{dt} = V_i(t) \tag{4}$$

Apabila tegangan sumber tetap konstan, kenaikan arus induktor adalah positif dan bernilai tetap, selama induktor tidak mencapai nilai batas saturasi. Maka persamaan (4) dapat dinyatakan sebagai persamaan (5).

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_i}{L} \tag{5}$$

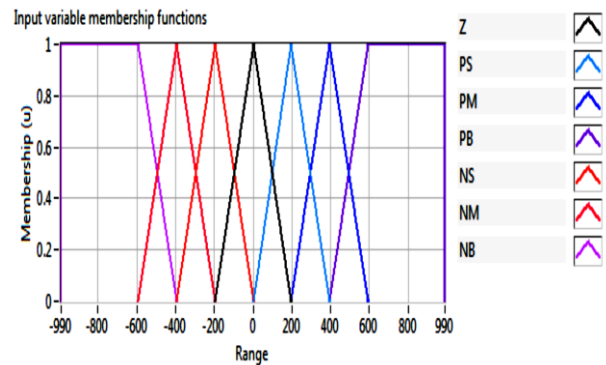
Dengan mengambil 2% *peak to peak ripple* kapasitor, nilai kapasitor diperoleh menggunakan persamaan (6).

$$L_{phase} = \frac{V_{in}D}{f_s \Delta i_L} \tag{6}$$

$$\Delta V_{out} = \frac{V_{in}D}{T_s C_{out} R} \tag{7}$$

Fuzzy logic banyak digunakan karena Fuzzy logic mirip dengan cara berpikir manusia. Fuzzy logic adalah suatu logika yang merepresentasikan cara berpikir manusia dalam bentuk matematis yang dapat mengolah ketidakpastian dan variabel-variabel linguistic. Logika Fuzzy melibatkan aturan-aturan yang dinyatakan dengan kata-kata yang tidak memerlukan presisi tinggi serta terdapat toleransi untuk data yang kurang tepat [26].

FLC didasarkan atas tiga prinsip: *fuzzification*, *Rule base* dan *defuzzification*. Fuzzifikasi merupakan suatu langkah untuk mengganti nilai input yang berupa variabel *crisp* menjadi bentuk *Fuzzy* dengan menentukan nilai derajat keanggotaan terlebih dahulu. Sehingga kemudian *input* dapat dikelompokkan pada himpunan *Fuzzy* yang tepat agar masukan *controller Fuzzy* bisa dipetakan supaya sesuai dengan himpunan *Fuzzy*.



Gambar 3. Membership input *Fuzzy*

Keterangan:

- Z: Zero
- PS: *Positive Small*
- PM: *Positive Medium*
- PB: *Positive Big*
- NS: *Negative Small*
- NM: *Negative Medium*
- NB: *Negative Big*

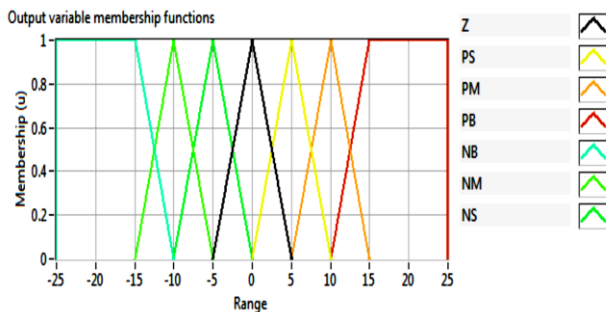
Rule Base adalah merupakan aturan Fuzzy yang digunakan untuk pengendalian sistem. Aturan itu sendiri dibuat berdasarkan logika manusia yang berkaitan dengan jalan pikiran serta penelitian yang dilakukan oleh setiap pembuatnya. Aturan ini dibuat untuk

membandingkan antara masukan dari fuzzifikasi dengan aturan yang sudah dibuat sesuai intuisi. Sehingga output yang diinginkan akan sesuai dengan *rule base* yang telah dibuat.

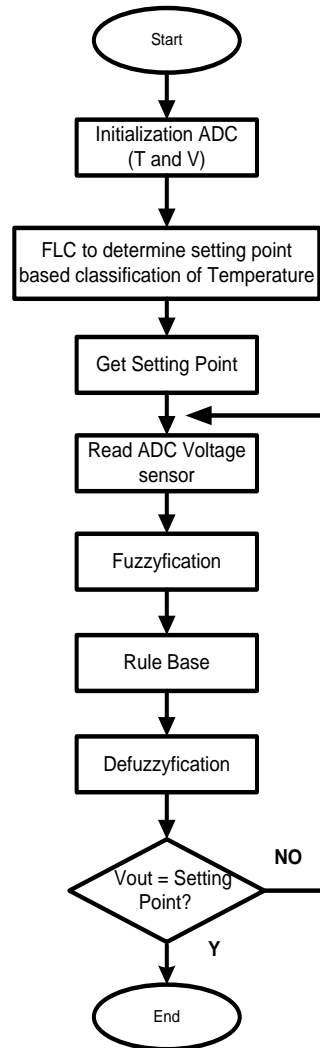
		ERROR							
		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB	
DELTA ERROR	PB	PB	PB	PB	PM	PS	PS	Z	
	PM	PB	PB	PM	PS	PS	Z	NS	
	PS	PB	PM	PS	PS	Z	NS	NM	
	Z	PM	PS	PS	Z	NS	NS	NM	
	NS	PM	PS	Z	NS	NS	NM	NB	
	NM	PS	Z	NS	NS	NM	NB	NB	
	NB	Z	NS	NM	NM	NB	NB	NB	

Gambar 4. Rule Base Evaluasi

Defuzzifikasi yang merupakan proses lanjutan setelah pengambilan keputusan berdasarkan basis aturan (rule evaluation) yang sudah ditetapkan. Pada penelitian ini digunakan output non-singleton dengan metode COA (Centre of Area) sebagai keluarannya. Tahapan sistem fuzzy dapat dilihat pada Gambar 6.

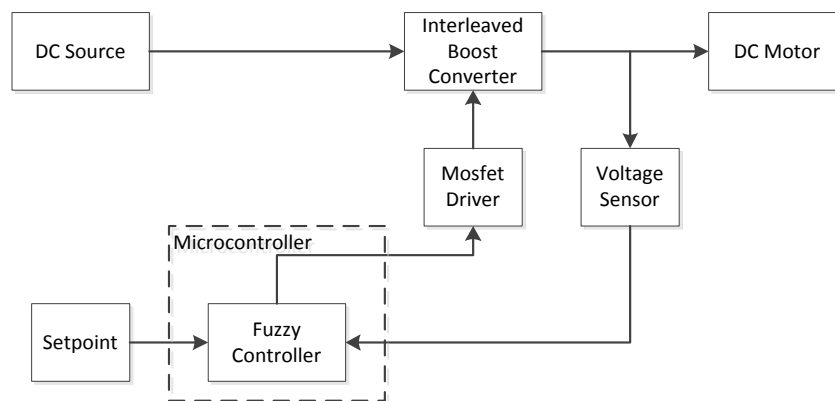


Gambar 5. Membership output Fuzzy



Gambar 6. Blok Diagram proses sistem fuzzy

Rangkaian dari FLC sebagai kendali *Interleaved Boost Converter* (IBC) DC motor drive ditunjukkan pada blok diagram keseluruhan sistem Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram keseluruhan sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menggunakan *software* PSIM untuk simulasi dan hasil dari percobaan Interleaved Boost Converter. Penelitian ini juga mengamati karakteristik motor DC yang dalam proses pengendalian kecepatan motornya dikendalikan oleh Interleaved Boost Converter menggunakan *Fuzzy Logic Controller*. Karakteristik yang diamati seperti karakteristik arus jangkar terhadap kecepatan, arus medan terhadap kecepatan, arus jangkar terhadap torsi, arus medan terhadap torsi, dan torsi terhadap kecepatan. Simulasi dari pengujian *Interleaved Boost Converter* untuk pengendalian kecepatan motor DC ditunjukkan oleh Gambar 8.

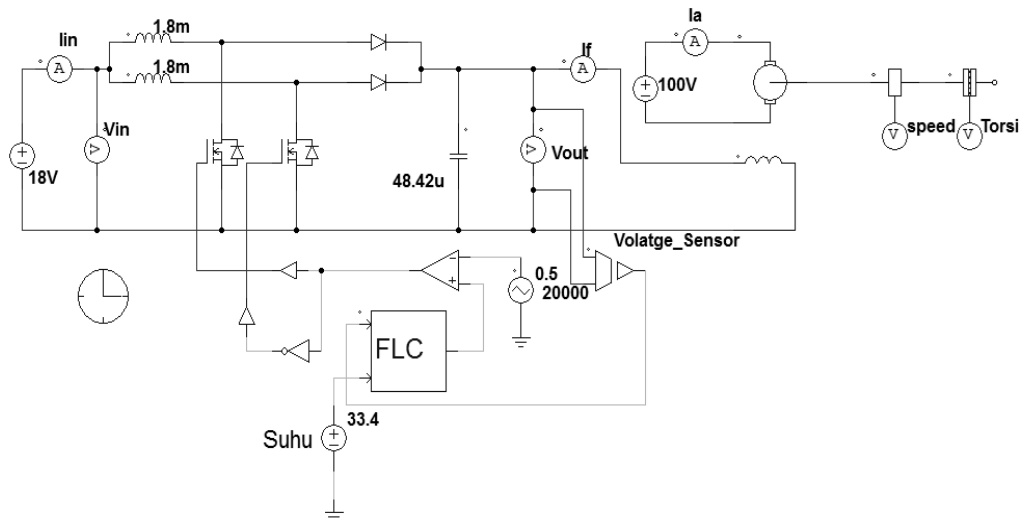
Tabel 1 menyajikan data parameter dari perencanaan simulasi pengendalian motor DC yang akan dijadikan rujukan untuk melakukan pengujian pengendalian kecepatan motor DC dan mengamati karakteristik dari motor DC.

Tabel 1. Parameter sitem yang dirancang

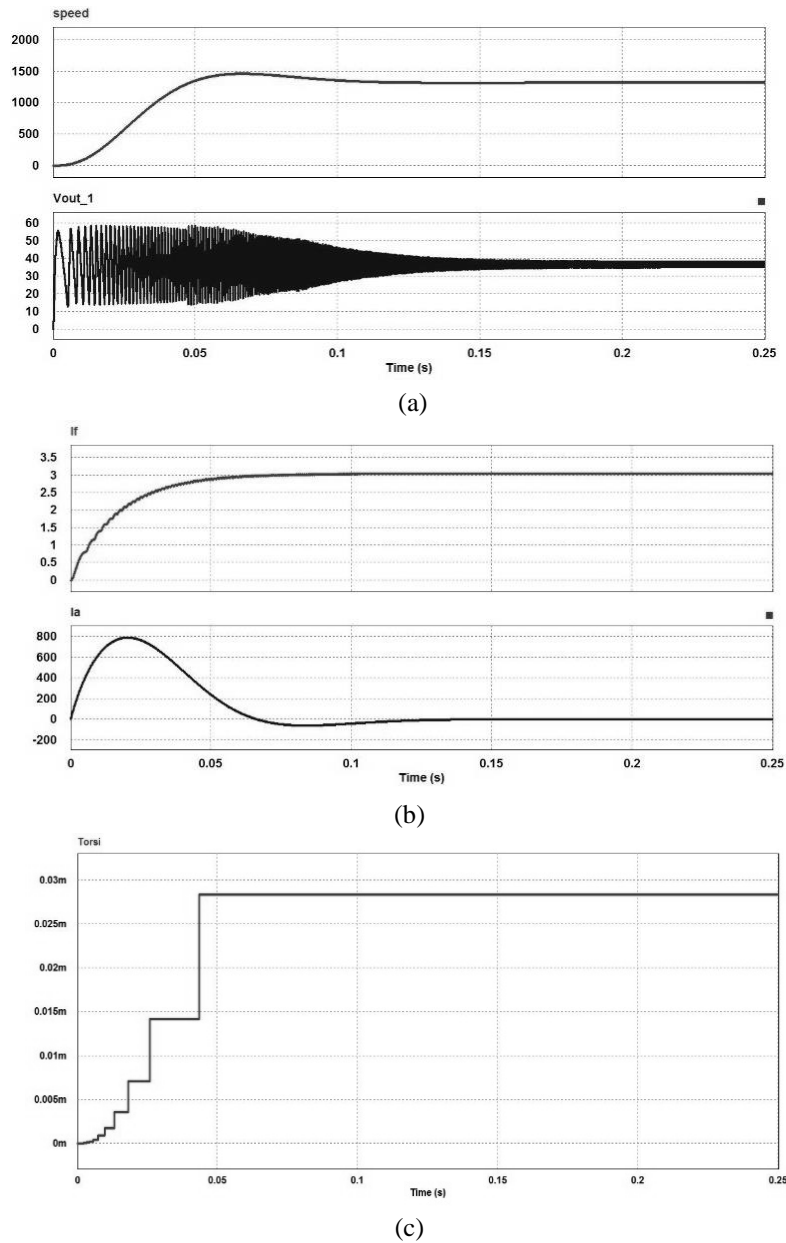
Parameter	Value
Tegangan masukan (Vin)	24 Volt
Tegangan keluaran (Vout)	30 – 60 Volt
Arus keluaran (Io)	5 A
Frekuensi (f)	20 KHz
Arus ripple keluaran (ΔI_L)	25%
Tegangan ripple keluaran (ΔV_O)	1%
Induktor (L)	1,8 mH
Kapasitor (C)	48,42 μ F
Beban	Motor DC
Kecepatan nominal	1200 Rpm

Selanjutnya hasil simulasi pengujian ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 9 merupakan respon keluaran dari *Interleaved Boost Converter* yang digunakan sebagai pengendali kecepatan motor DC. Sistem yang dirancang menggunakan *Fuzzy Logic Controller* sebagai teknik kendalinya. Gambar 9(a) adalah respon kecepatan motor DC dengan menggunakan *fuzzy logic controller*. *fuzzy logic controller* digunakan karena sistem membutuhkan pengendali yang bisa digunakan pada sitem yang dinamis. Pada Gambar 8(a) dapat dijelaskan bahwa respon pengendalian kecepatan motor DC memiliki waktu *steady state* sebesar 0,15 detik dan terjadi sedikit *over shoot*.

Karakteristik yang diamati dari pengendalian motor DC diantaranya adalah karakteristik arus jangkar terhadap kecepatan, arus medan terhadap kecepatan, arus jangkar terhadap torsi, arus medan terhadap torsi, dan torsi terhadap kecepatan. Karakteristik motor DC dapat dilihat dari beberapa pengujian dengan mengamati perubahan nilai arus jangkar, arus medan, kecepatan dan torsi pada range nilai tegangan keluaran dari *Interleaved Boost Converter* antara 30 Volt sd. 60 Volt. Range antara 30 Volt sd 60 Volt dipilih karena nilai tegangan keluaran tersebut merepresentasikan nilai suhu di sekitar, dimana suhu berbanding lurus dengan nilai tegangan keluaran dari *Interleaved Boost Converter*.



Gambar 8. Simulasi pengendalian motor DC



Gambar 9. Respon keluaran Interleaved Boost Converter pada suhu 33,4° C (a) Kecepatan dan tegangan keluaran, (b) arus medan dan arus jangkar, (c) torsi

Tabel 2 adalah hasil dari pengujian Interleaved Boost Converter untuk mengamati beberapa karakteristik dari motor DC. Data hasil pengujian pada Tabel 2 dijadikan rujukan untuk mengamati beberapa karakteristik dari motor DC. Pada motor DC penguat terpisah, pengaruh tegangan medan terhadap torsi yaitu semakin kecil nilai tegangan medan, nilai torsi yang dihasilkan juga besar atau dapat diartikan

hubungan antara tegangan medan terhadap torsi adalah memiliki nilai yang berbanding terbalik.

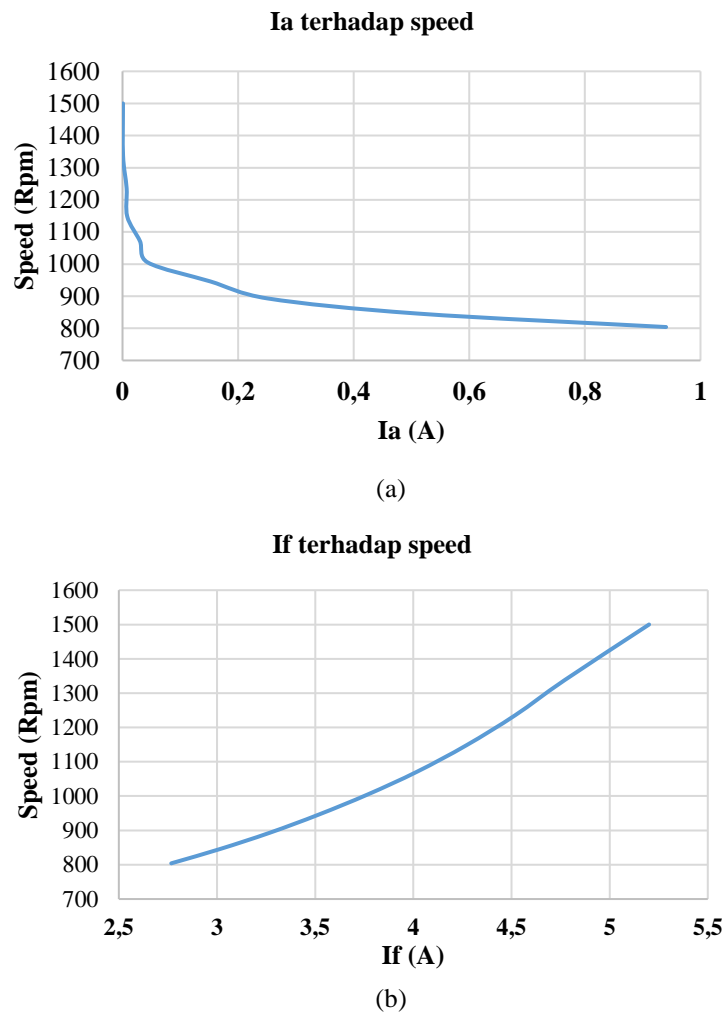
Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa perubahan nilai tegangan keluaran dengan range 30 – 60 Volt berbanding lurus dengan perubahan kecepatan motor DC dengan range 800 Rpm sd 1500 Rpm. Hasil simulasi juga menunjukkan nilai arus jangkar (I_a) yang diubah nilainya semakin besar, berpengaruh pada kecepatan motor juga semakin cepat.

Tabel 2. Data pengujian Interleaved Boost Converter pada beban Motor DC

No	Ia (A)	If (A)	Speed (Rpm)	Torsi (Nm)
1	0,9405	2,767	804	0,0000142
2	0,5104	3,017	846	0,0000142
3	0,2512	3,268	893	0,0000142
4	0,152	3,518	946	0,0000142
5	0,0437	3,769	1005	0,0000142
6	0,0303	4,019	1071	0,0000142
7	0,0082	4,2703	1148	0,0000142
8	0,00713	4,52	1236	0,00002842
9	0,00093	4,771	1338	0,00002842
10	0,00083	5,201	1500	0,00002842

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa karakteristik perubahan nilai arus jangkar dan

arus medan terhadap perubahan kecepatan dari motor DC memiliki karakteristik yang berkebalikan terhadap perubahan kecepatan dengan mengubah nilai tegangan keluaran *Interleaved Boost Converter*. Nilai tegangan keluaran *Interleaved Boost Converter* dijadikan tegangan suplai pada sisi medan, sehingga pengendalian ini disebut juga pengendalian arus medan. Semakin besar nilai arus medan, maka semakin besar pula nilai kecepatan motor DC. Sementara itu semakin besar nilai arus jangkar, kecepatan motor DC cenderung turun. Karakteristik arus jangkar terhadap torsi, arus medan terhadap torsi, dan torsi terhadap kecepatan dapat dilihat pada Gambar 11.

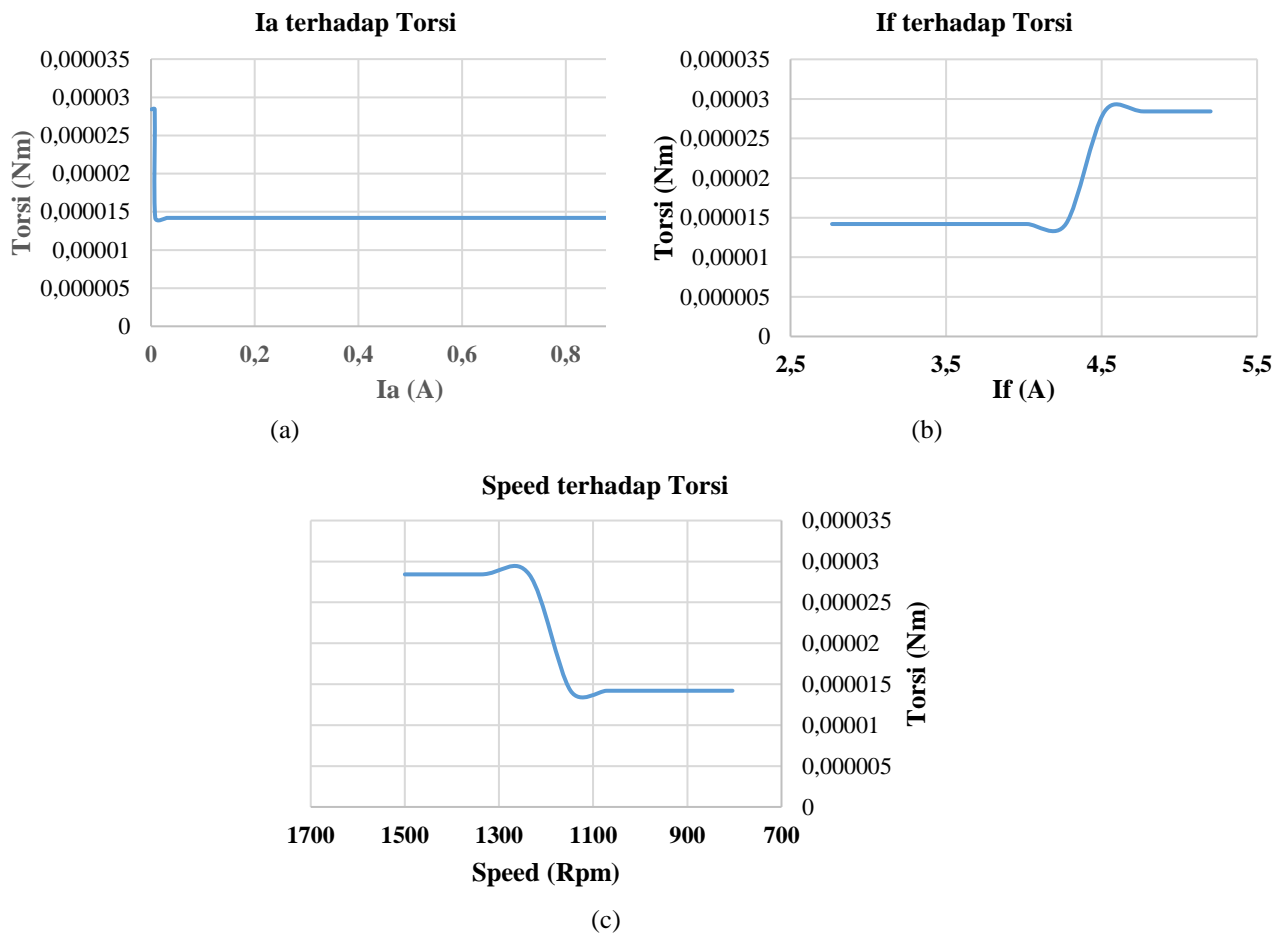


Gambar 10. Grafik karakteristik motor DC (a) Ia terhadap kecepatan, (b) If terhadap kecepatan

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa karakteristik perubahan nilai arus jangkar dan arus medan terhadap perubahan torsi dari motor DC memiliki karakteristik yang berkebalikan terhadap perubahan torsi dengan mengubah nilai tegangan keluaran *Interleaved Boost Converter*

Nilai tegangan keluaran *Interleaved Boost Converter* dijadikan tegangan suplai pada sisi medan, sehingga pengendalian ini disebut juga pengendalian arus medan. Perubahan nilai arus medan yang semakin besar memiliki

karakteristik nilai torsi awal motor kecil dan nilai torsi akhir nilainya yang paling besar dan konstan. Sementara itu perubahan nilai arus jangkar yang semakin besar memiliki karakteristik nilai torsi awal motor besar dan nilai torsi akhir nilainya kecil dan konstan. Gambar 11 (c) dapat dijelaskan bahwa nilai torsi awalnya besar pada saat kecepatan tinggi dan torsi akhir turun pada saat kecepatan motor turun.



Gambar 11. Karakteristik motor DC (a) Ia terhadap torsi, (b) If terhadap torsi, dan (c) kecepatan terhadap torsi

SIMPULAN

Proses pengendalian kecepatan motor DC menggunakan *Interleaved Boost Converter* pada proses penyiraman kecambah dapat berfungsi dengan baik dengan bervariasinya nilai kecepatan. Sistem yang dirancang menggunakan *Fuzzy Logic Control* pada nilai kecepatan dinamis juga dapat berjalan dengan baik, dimana nilai perubahan suhu memiliki karakteristik yang

linier terhadap nilai tegangan keluaran dari *Interleaved Boost Converter*. Perubahan nilai tegangan keluaran juga berbanding lurus dengan perubahan kecepatan motor DC (30 Volt sd. 60 Volt ≈ 800 Rpm sd 1500 Rpm).

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Kumari and S. K. Swain, "Optimal Control based PID tuning for control of Four Quadrant Chopper fed DC Motor," in *Technologies for*

- Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, 2018, pp. 1–6.
- [2] N. Pimkumwong and M. S. Wang, “An Online Artificial Neural Network Speed Estimator for Sensorless Speed Control of Separately Excited DC Motor,” in *International conference on electrical engineering/electronics, computer, telecommunications and information technology*, 2018, pp. 37–40.
- [3] M. Sahana, S. Angadi, and A. B. Raju, “Speed Control of Separately Excited DC Motor Using Class A Chopper,” in *International conference on circuit, controls, communications and computing*, 2016, no. 1, pp. 1–6.
- [4] N. Pothi, “Flux-weakening Control Strategy of Separately Excited DC Machine Utilizing Voltage Regulation for Modifying Field Current,” in *International conference on control and robotics engineering*, 2017, pp. 160–164.
- [5] M. A. H. Azman, J. M. Aris, Z. Hussain, A. A. A. Samat, and A. M. Nazelan, “A Comparative Study of Fuzzy Logic Controller and Artificial Neural Network in Speed Control of Separately Excited DC Motor,” in *International conference on control system, computing and engineering*, 2017, no. November, pp. 24–26.
- [6] S. N. Thanh, C. N. The, and H. H. Xuan, “Improved Performance of a Sensorless DC Motor Control using Fuzzy Logic,” in *International conference on intelligent and advanced systems*, 2014.
- [7] A. P. Y. Waroh, “Analisa dan Simulasi Sistem Pengendalian Motor DC,” *J. Ilm. Sains*, 2014.
- [8] A. W. Ibrahim, T. W. Widodo, and W. T. Supardi, “Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC,” *Indones. J. Electron. Instrumentations Syst.*, vol. 6, no. 1, 2016.
- [9] N. Nugroho and S. Agustina, “Analisa Motor DC (Direct Current) sebagai Penggerak Mobil Listrik,” *J. Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, pp. 28–34, 2015.
- [10] M. N. Yuski *et al.*, “Rancang Bangun Jangkar Motor DC (The Rotor of DC Motor Design),” *Berk. Sainstek*, vol. 2, pp. 98–103, 2017.
- [11] A. Afrin and M. R. Ahmed, “Design, Improvement & Analysis of Solar Based Three-Stage Interleaved Boost Converter for BLDC Motor,” *2019 Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Eng.*, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [12] S. Nahar, “Performance Analysis of Solar MPPT (InC Algorithm) Based Three Phase Interleaved Boost Converter using Coupled Inductor for Brushless DC Motor,” *2018 Int. Conf. Adv. Electr. Electron. Eng.*, pp. 1–4, 2018.
- [13] A. Ghosh, S. B. Santra, M. K. Maharana, and P. Biswal, “Torque Ripple and Efficiency Optimization of a Novel Boost Converter fed BLDC Motor Drive,” in *International Conference on computational of power, energy, information and communication*, 2016, pp. 344–349.
- [14] P. Karthika, A. B. M. P. Ayyappan, C. K. Sidharthan, and V. R. Rajakumar, “PV Based Speed Control of Dc Motor Using Interleaved Boost Converter With Sic MOSFET and Fuzzy Logic Controller,” in *International conference on communication and signal processing*, 2016, pp. 1826–1830.
- [15] I. M. Oise, U. H. Diala, G. N. Ezeh, and R. Opara, “Evaluation of Transient Response of a Separately Excited DC Motor under No-Load Condition,” in *International conference on emerging and sustainable technologies for power and ICT in a developing society*, 2013, pp. 258–262.
- [16] A. Narendra, N. V. Naik, and N. Tiwary, “PV fed Separately Excited DC Motor with a Closed Loop Speed Control,” *2018 IEEE 8th Power India Int. Conf.*, pp. 1–4, 2018.
- [17] M. S. Aftab and F. Aftab, “A Neuro-Adaptive Inverse Speed Control Mechanism for Separately Excited DC Motor with Nonlinearities,” in *International conference on latest trends in electrical engineering and computing technologies*, 2017, no. 1.
- [18] X. Liang, C. Zhang, S. Srdic, and S. M. Lukic, “Predictive control of a series-interleaved multicell three-level boost power-factor-correction converter,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 10, pp. 8948–8960, 2018, doi: 10.1109/TPEL.2017.2780244.
- [19] A. Tiwari, O. Jaga, and S. S. Soni, “Sliding Mode Controller Based Interleaved Boost Converter for Fuel Cell System,” in *Recent Development in control, automation and power engineering*, 2017, vol. 3, pp. 3–7.
- [20] N. Shaji and D. S. K., “Fuzzy Controlled Power Factor Correction in AC/DC Interleaved Boost Converter,” *Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. [ICCPCT]*, pp. 165–173, 2016.
- [21] M. S. Gunawan, “Rancang Bangun Alat Penyiram Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah,” *J. Electr. Technol.*, vol. 1099, pp. 13–17, 2019.
- [22] S. Purwanti, Nurlina, and B. Gunawan, “Implementasi Teknologi Kreatif Dalam Mewujudkan Umkm Produktif Melalui Program Kemitraan Masyarakat (PKM) (Kelurahan Kertajaya , Kecamatan Gubeng Kota Surabaya),” *J. Pengabd. Masy.*, vol. 04, no. 01, pp. 49–54, 2019.
- [23] S. Riyadi, “Peran Motor Listrik pada Transportasi Ramah Lingkungan,” *J. Prax.*,

- vol. 1, pp. 13–23, 2018.
- [24] H. Abu-rub, A. Iqbal, and J. Guzinski, *High Performance Control of AC Drives with Matlab/Simulink Models*. John Wiley & Sons, 2012.
- [25] M. A. Mazta, A. S. Samosir, and A. Haris, “Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino,” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, no. 1, 2016.
- [26] S. Triyani and S. K. Risandriya, “Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Fuzzy Setting Point pada Labview,” *J. Appl. Electr. Eng.*, pp. 6–11, 2018.