

# Komparasi Metode PI pada pengaturan Tegangan Konverter Buck untuk Kendali Kecepatan Motor BLDC

Asep Andang<sup>1</sup>, Ervan Paryono<sup>2</sup>, Firmansyah Maulana Nursuwars<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Elektro FT UNSIL

<sup>3</sup> Jurusan Informatika FT UNSIL

Jl. Siliwangi No.24 Tasikmalaya 46133 INDONESIA

andhangs@unsil.ac.id<sup>1</sup>, paryonoervan@gmail.com<sup>2</sup>, firmansyah@unsil.ac.id<sup>3</sup>

**Intisari**— Motor BLDC banyak digunakan saat ini dikarenakan berbagai kelebihan mulai dari dimensi yang kecil dan ringan jelajah kecepatan, efisiensi tinggi serta dapat ditempatkan pada daerah yang berbahaya. Pengendalian kecepatan motor BLDC yang sering digunakan adalah PI dengan berbagai gabungan metodenya. Pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kecepatan motor dengan mengendalikan tegangan pada konverter buck yang terhubung dengan inverter tiga fasa sebagai driver motor BLDC. Metode tuning PI yang di paparkan adalah perbandingan metode tuning PI dengan metode Chien-Regulator, Chien Servo dan Ziegler Nichols. Pengujian dilakukan pada motor BLDC dengan menggunakan Bump test serta waktu respon dengan berbagai metode. Dari hasil didapatkan bahwa metode Ziegler Nichols mempunyai keunggulan pada saat starting tetapi mempunyai respon waktu yang lambat dibandingkan kedua metode lainnya.

**Keywords**— PI, metode tuning, DC Konverter, metode Chien-Regulator, metode Chien Servo, metode Ziegler Nichols

## I. PENDAHULUAN

Mekanisasi secara otomatis berkembang dengan pesat. Penggunaan motor-motor listrik semakin banyak digunakan, motor dc memegang peranan penting dalam proses mekatronika ini. Dalam perkembangannya dengan adanya motor BLDC perlahan motor dc mulai tergantikan.

Motor BLDC mempunyai kelebihan dibandingkan dengan motor dc mempunyai struktur yang sederhana, ringan, jelajah kecepatan yang luas, operasi tanpa noise, operasi bebas pemeliharaan, torka awal yang besar, kendali presisi dan akurat serta respon dinamik yang tinggi[1][2] disamping itu juga motor BLDC ini mempunyai kemampuan dalam kecepatan dan efisiensi tinggi[3] kelebihan juga motor BLDC ini mampu di tempatkan di tempat yang berbahaya atau area Hazardous karena tidak adanya komutator sehingga tidak terjadi percikan api antara komutator dan sikat karbon[4]–[6]. Motor BLDC saat ini banyak digunakan di aerospace, penerbangan, peralatan medis, instrumentasi, peralatan rumah tangga, industri kimia dan bidang lainnya[7][8].

Pengendalian Motor BLDC dilakukan dengan mengendalikan catu daya tegangan masuk atau DC-link. Pengendalian DC-link ini dilakukan konverter buck dengan PWM sehingga tegangan yang digunakan oleh inverter akan berubah[9][10]. Pengendalian lain dilakukan pada inverter yang terhubung langsung dengan motor BLDC dengan cara mengendalikan pengsaklaran kaki inverter[11][12].

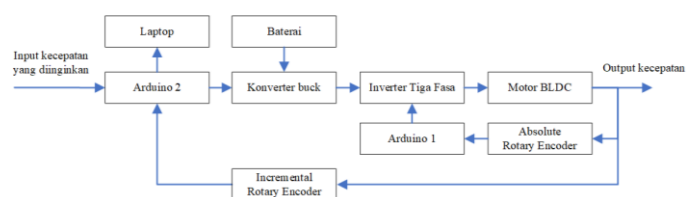
Pengendalian Motor BLDC dilakukan untuk mengatur kecepatan. Pengendalian yang paling umum adalah yang dilakukan adalah kendali PI. Kendali PI ini dilakukan karena sederhana mudah dilakukan dan murah. Berbagai pengendalian PI dilakukan untuk mengatur kecepatan dan torka BLDC. Selain PID[13]–[16], berbagai macam metode gabungan kendali telah banyak dilakukan seperti Fuzzy PID[17][18], Adaptive Fuzzy PID[11][19], AI-PID[20].

Pada artikel ini akan di bahas metode tuning nilai PI dengan menggunakan metode Chien-Regulator, Chien Servo dan Ziegler Nichols. Pengujian dilakukan untuk mengetahui metode tuning PI yang paling sesuai kebutuhan.

## Metode

### A. Diagram Block Sistem

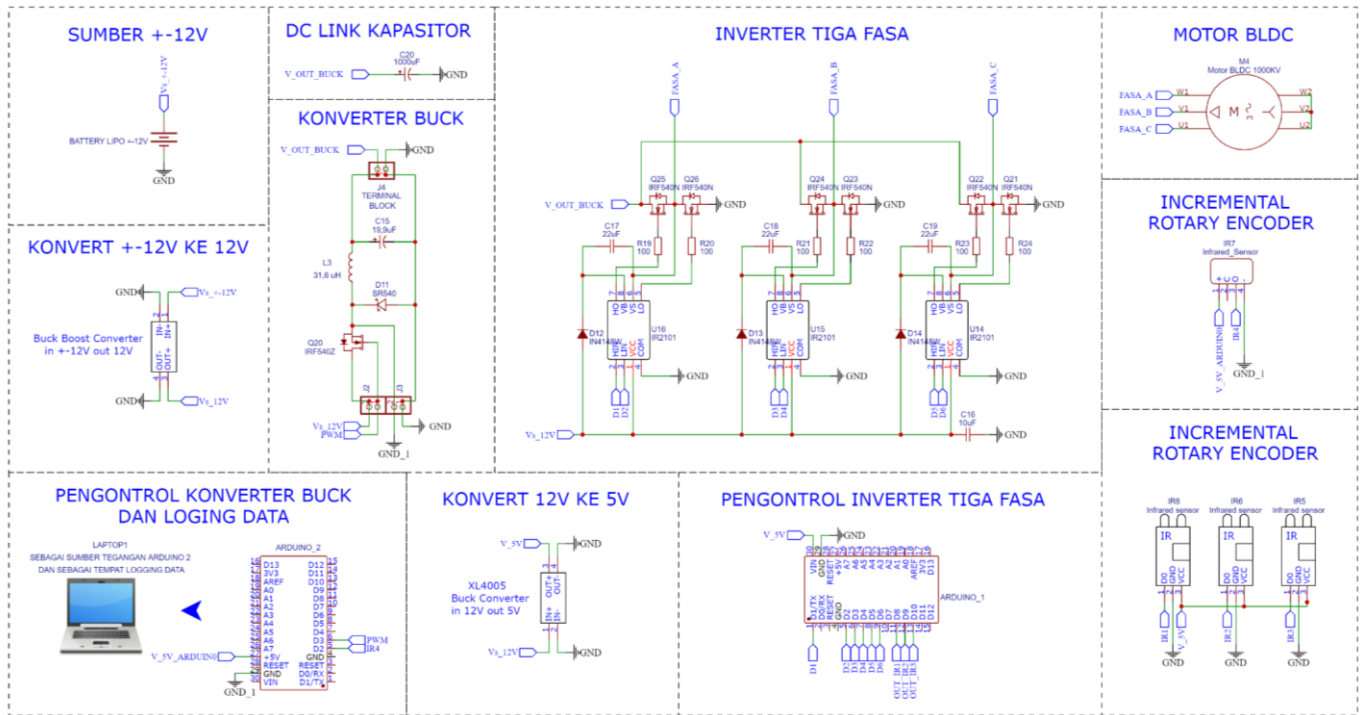
Dari proses perancangan sistem dihasilkan block diagram untuk mengendalikan motor BLDC, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gbr 1. Diagram Block Sistem

### B. Diagram Pengawatan

Dari diagram block sistem, proses perancangan unit, pengujian unit dihasilkan diagram pengawatan sistem seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gbr 2. Diagram Pengawatan Sistem

C. Pembuatan Sistem



Gbr 3. Sistem Pengatur Kecepatan Motor BLDC

Pada Gambar 3. memperlihatkan sistem pengatur motor BLDC yang telah dibuat.

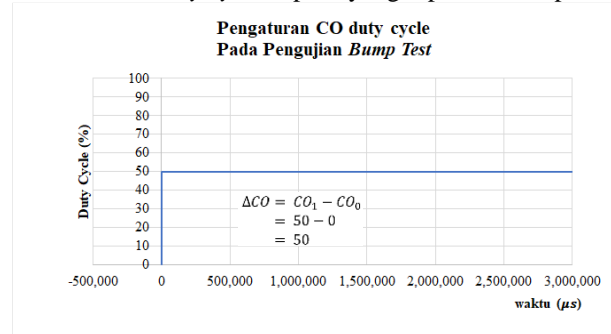
Kecepatan motor BLDC dapat dikategorikan sebagai *model proses self regulating*. Oleh karena itu model proses kecepatan motor BLDC dapat didekati oleh sebuah model matematis yang dikenal dengan nama model FOPDT (First Order Plus Dead Time) yang dicirikan oleh tiga buah parameter yaitu keterlambatan transportasi ( $L$ ), konstanta waktu proses ( $T$ ) dan gain statis proses ( $K$ ) [21]. Parameter  $L$ ,  $T$  dan  $K$  dapat dihitung dengan cara melakukan uji *bump test* [21].

II. HASIL

A. Pengujian Bump Test

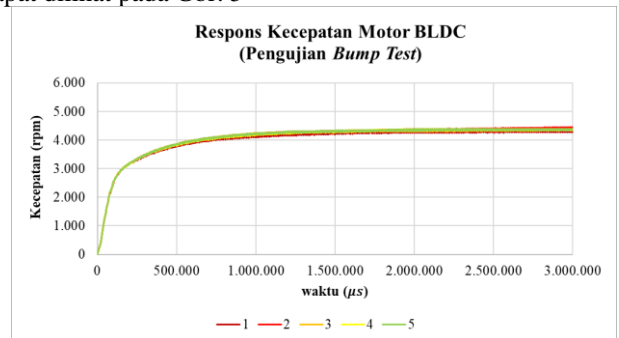
Bump test dilakukan secara *open loop* dengan cara memberikan perubahan tangga (step) sinyal control output (CO) oleh operator [21].

Pada penelitian ini, *bump test* dilakukan dengan mengubah dari 0% ke 50% *duty cycle* seperti yang diperlihatkan pada 4.



Gbr 4 Variabel CO Duty Cycle

Pengujian bump test dilakukan sebanyak lima kali, hasilnya dapat dilihat pada Gbr. 5

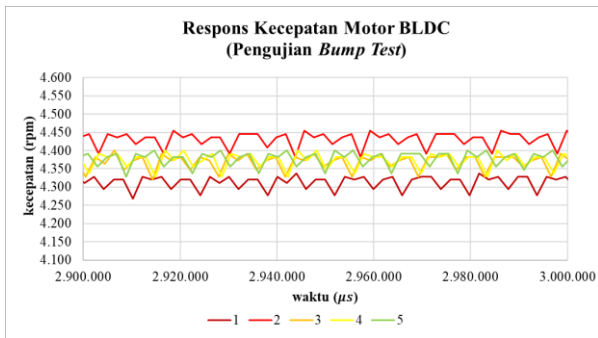


Gbr. 5 Respons Kecepatan Motor BLDC (Pengujian Bump Test)

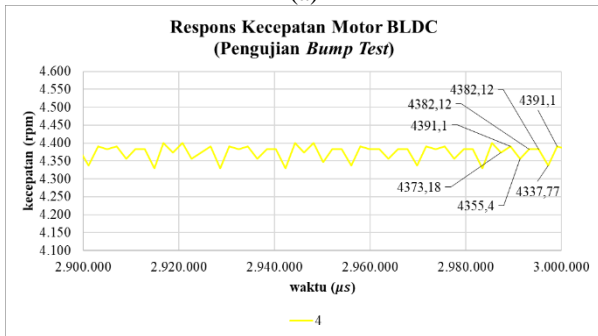
Gbr. 5 menunjukkan hasil pengujian *bump test* sebanyak lima kali.

B. Perhitungan parameter FOPDT (L, T dan K)

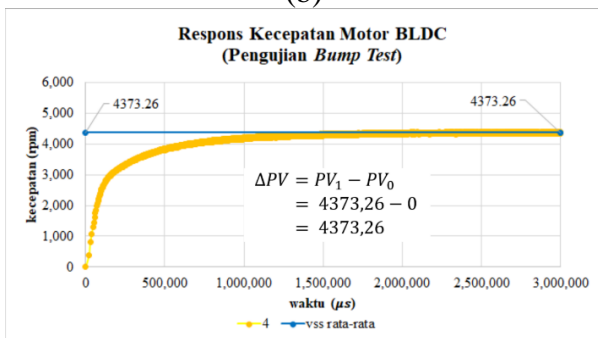
Dari Gbr. 5 dilakukan analisa sehingga menghasilkan Gbr. 6.



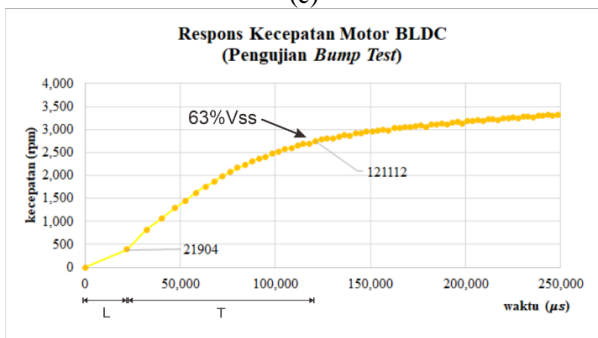
(a)



(b)



(c)



(d)

Gbr. 6 Respons Kecepatan Motor BLDC (a) Pada waktu 2,9-3 detik (b) Pada waktu 2,9-3 detik (c) Pada waktu 0-3 detik (d) Pada waktu 0-0,25 detik

Dari Gbr. 6 (a) dapat disimpulkan bahwa pengujian ke-4 berada paling tengah, oleh karena grafik pengujian ke-4 dipilih sebagai referensi.

Dibutuhkan satu nilai kecepatan steady state. Pada penelitian ini nilai kecepatan steady state dicari dengan cara merata-ratakan tujuh data. Merata-ratakan tujuh data karena kecepturnya berubah-ubah tetapi setiap data membentuk pola yang sama dengan tujuh data. ketujuh data tersebut dapat dilihat pada Gbr. 6 (b) maka kecepatan steady state rata-rata ( $\overline{V_{ss}}$ ) yaitu 4373,26 RPM.

Dari Gbr. 6 (c) didapat  $\Delta PV = 4373,26$  RPM dan dari Gbr. 4 didapat  $\Delta CO = 50\%$ , maka process static gain (K) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{4373,26}{50} = 87,46511 \text{ RPM}/\%$$

Dari Gbr. 6 (d) didapat:

$$L = 21904 \mu s = 0,0219 \text{ s}$$

$$T = 121112 \mu s - 21904 \mu s = 99208 \mu s = 0,09921 \text{ s}$$

Parameter FOPDT yang telah didapat sebelumnya disimpan pada TABEL I.

TABEL I  
PARAMETER FOPDT

L (s)	T (s)	K (RPM/%)
0,02190	0,09921	87,46511

C. Perhitungan parameter PI (  $K_p$  dan  $K_i$  )

TABEL II

BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PI IDEAL UNTUK PROSES FOPDT

Metode	$K_p$	$K_i$
Chien-Regulator	$\frac{0,6 \cdot T}{K \cdot L}$	$\frac{K_p}{4L}$
Chien-Servo	$\frac{0,35 \cdot T}{K \cdot L}$	$\frac{K_p}{1,17 \cdot L}$
Ziegler-Nichols	$\frac{0,9 \cdot T}{K \cdot L}$	$\frac{K_p}{3,33 \cdot L}$

Dengan mensubstitusikan TABEL I (parameter FOPDT) ke TABEL II maka di dapat parameter  $K_p$  dan  $K_i$  seperti yang ditunjukkan pada TABEL III.

TABEL III  
PARAMETER PI YANG DIDAPAT DENGAN BEBERAPA METODE

Metode	$K_p$	$K_i$
Chien-Regulator	0,03107	0,35461
Chien-Servo	0,01812	0,70721
Ziegler-Nichols	0,04660	0,63894

D. Perhitungan Parameter Lainnya

Setpoint kecepatan yang digunakan yaitu pembulatan kecepatan dari hasil pengujian bump test = 4373 RPM.

Waktu cuplik ( $t_c$ ) [21]:

$$t_c = 0,1T$$

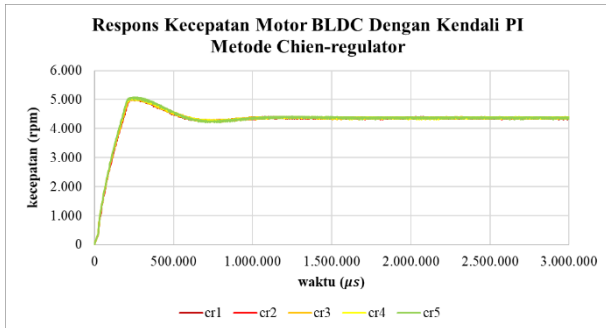
$$= 0,1 \times 0,09921 \text{ s}$$

$$= 0,009921 \text{ s}$$

Atau  
 $t_c = 9921 \mu s$

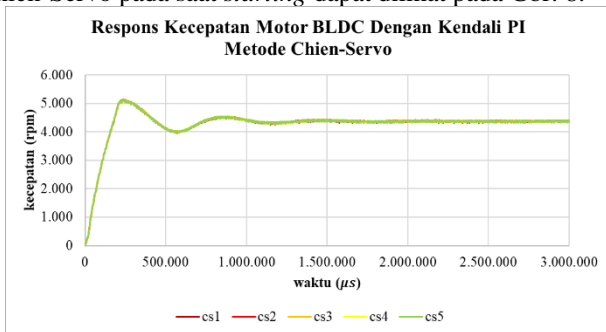
### E. Pengujian

a. Pengujian Sistem Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-Regulator Pada Saat Starting hasilnya dapat dilihat pada Gbr. 7.



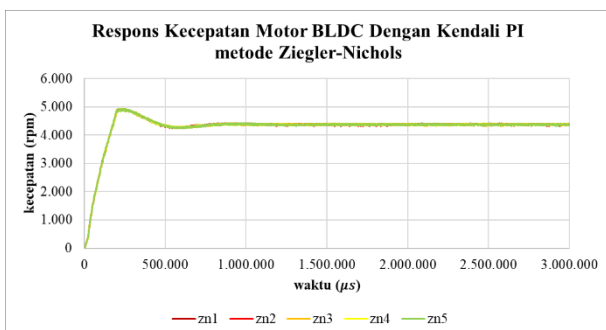
Gbr. 7 Respons Kecepatan Motor BLDC Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-regulator Pada Saat Starting

b. Pengujian Sistem Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-Servo Pada Saat Starting Hasil pengujian sistem dengan kendali PI metode Tuning Chien-Servo pada saat starting dapat dilihat pada Gbr. 8.



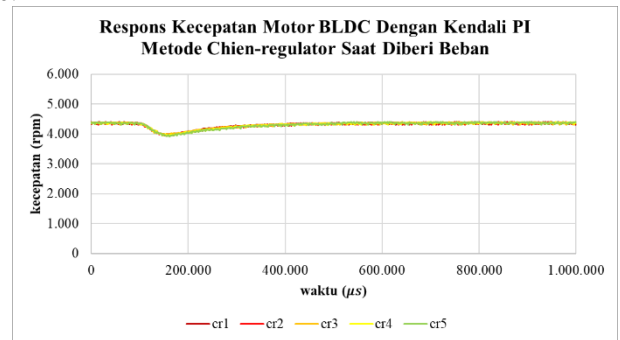
Gbr. 8 Respons Kecepatan Motor BLDC Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-Servo Pada saat starting

c. Pengujian Sistem Dengan Kendali PI Metode Tuning Ziegler-Nichols Pada Saat Starting Hasil pengujian sistem dengan kendali PI metode tuning ziegler-nichols pada saat starting dapat dilihat pada Gbr. 9.



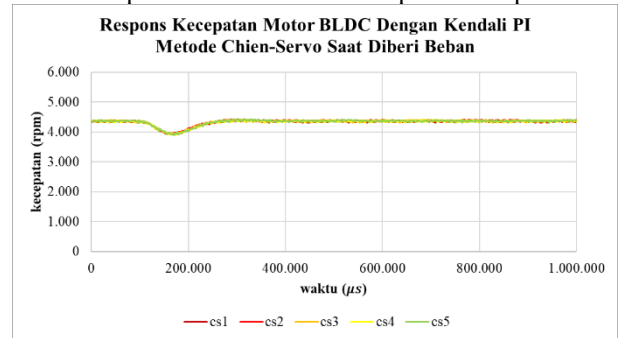
Gbr. 9 Respons Kecepatan Motor BLDC Dengan Kendali PI Metode Tuning Ziegler-Nichols Pada saat starting

d. Pengujian Sistem Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-Regulator Pada Saat Diberi Beban Hasil pengujian sistem dengan kendali PI metode tuning Chien-Regulator pada saat diberi beban dapat dilihat pada Gbr. 10.



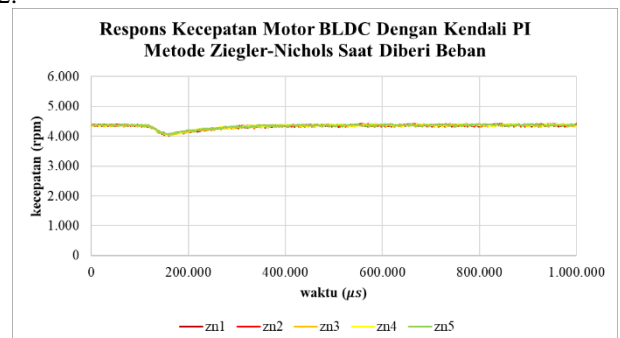
Gbr. 10 Respons Kecepatan Motor BLDC Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-regulator Saat Diberi Beban

e. Pengujian Sistem Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-Servo Pada Saat Diberi Beban Hasil pengujian sistem dengan kendali PI metode tuning Chien-Servo pada saat diberi beban dapat dilihat pada Gbr. 11.



Gbr. 11 Respons Kecepatan Motor BLDC Dengan Kendali PI Metode Tuning Chien-Servo Saat Diberi Beban

f. Pengujian Sistem Dengan Kendali PI Metode Tuning Ziegler-Nichols Pada Saat Diberi Beban Hasil pengujian sistem dengan kendali PI metode tuning ziegler-nichols pada saat diberi beban dapat dilihat pada Gbr. 12.



Gbr. 12 Respons Kecepatan Motor BLDC Dengan Kendali PI Metode Tuning Ziegler-Nichols Saat Diberi Beban

### F. Analisa

Berdasarkan pengujian sistem dengan Metode *tuning* Ziegler-Nichols, Chien-Regulator dan Chien-Servo, didapat beberapa data yang terangkum pada TABEL IV dan TABEL V.

TABEL IV

HASIL PENGUJIAN SISTEM PADA SAAT STARTING

Metode <i>tuning</i>	Overshoot	Settling time ( $\mu s$ )	Error Steady State	
			Min	Max
Chien-Regulator	15,57%	901640	-1,01%	0,83%
Chien-Servo	16,67%	1246968	-1,21%	0,83%
Ziegler-Nichols	12,65%	682956	-1,01%	0,62%

Pada TABEL IV dapat dilihat bahwa pada saat *starting* metode *tuning* Ziegler-Nichols menghasilkan karakteristik yang terbaik dari segala aspek dibanding metode *tuning* Chien-Regulator dan Chien-Servo, seepeti *overshoot* = 12,65%, *settling time* = 682956  $\mu s$ , *minimum error steady state* = -1,01%, dan *maximum error steady state* 0,62%.

TABEL V

HASIL PENGUJIAN SISTEM PADA SAAT DIBERI BEBAN

Metode <i>tuning</i>	Overshoot	Settling time ( $\mu s$ )	Error steady state	
			Min	Max
Chien-Regulator	0.83%	315608	-1,01%	0,83%
Chien-Servo	1.03%	137496	-1,21%	0,83%
Ziegler-Nichols	1.03%	175620	-1,40%	1,03%

Berbeda dengan *starting*, respons saat diberi beban metode *tuning* Ziegler-Nichols tidak lagi menjadi yang terbaik dari segala aspek berdasarkan TABEL V. Dari segi *overshoot* dan *error steady state* metode *tuning* Chien-Regulator yang terkecil dengan nilai persentase *overshoot* = 0.83%, *minimum error steady state* = -1,01%, dan *maximum error steady state* 0,82%. Dari segi *settling time* metode *tuning* Chien-Servo yang tercepat yaitu 137496  $\mu s$ .

### III. KESIMPULAN

Metode *tuning* Ziegler-Nichols dengan  $K_p = 0,04660$ ,  $K_i = 0,63894$  dan  $K_d = 0$  menghasilkan karakteristik yang terbaik dari segala aspek saat *starting* seperti *overshoot* = 12,65%, *settling time* = 682956  $\mu s$ , *minimum error steady state* = -1,01%, dan *maximum error steady state* 0,62% di banding metode *tuning* Chien-Regulator dengan  $K_p = 0,03107$ ,  $K_i = 0,35461$  dan  $K_d = 0$  serta metode *tuning* Chien-Servo dengan  $K_p = 0,01812$ ,  $K_i = 0,70721$  dan  $K_d = 0$ . Berbeda dengan *starting*, respons saat diberi beban metode *tuning* Ziegler-Nichols tidak lagi menjadi yang terbaik dari segala aspek. Dari segi *overshoot* dan *error steady state* metode *tuning* Chien-Regulator yang terkecil dengan nilai persentase *overshoot* = 0.83%, *minimum error steady state* = -1,01%, dan *maximum error steady state* 0,82%. Dari segi

*settling time* metode *tuning* Chien-Servo yang tercepat yaitu 137496  $\mu s$ .

### REFERENSI

- [1] W. Khan-Ngern, W. Keyoonwong, N. Chatsiriwech, P. Sangnopparat, P. Mattayaboon, and P. Worawalai, "High Performance BLDC Motor Control for Electric Vehicle," in *2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)*, Jul. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICEAST.2018.8434499.
- [2] M. D. Ardiansyah and F. Rohman, "IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KENDALI KECEPATAN PADA MOTOR BLDC 1 KW TANPA BEBAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PID," *J. ELTEK*, vol. 17, no. 2, p. 94, Nov. 2019. doi: 10.33795/eltek.v17i2.160.
- [3] A. Mamadapur and G. Unde Mahadev, "Speed Control of BLDC Motor Using Neural Network Controller and PID Controller," in *2019 2nd International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)*, Aug. 2019, pp. 146–151. doi: 10.1109/ICPEDC47771.2019.9036695.
- [4] M. A. Ibrahim, A. K. Mahmood, and N. S. Sultan, "Optimal PID controller of a brushless dc motor using genetic algorithm," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 10, no. 2, p. 822, Jun. 2019. doi: 10.11591/ijped.v10.i2.pp822-830.
- [5] M. R. Haque and S. Khan, "The Modified Proportional Integral Controller for the BLDC Motor and Electric Vehicle," in *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, Apr. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422548.
- [6] V. Verma and S. Chauhan, "Adaptive PID-Fuzzy Logic Controller for Brushless DC Motor," in *2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, Jun. 2019, no. 2, pp. 445–449. doi: 10.1109/ICECA.2019.8821941.
- [7] W. Zhang, F. Zhang, J. Zhang, J. Zhang, and J. Zhang, "Based on Brushless DC Motor of Fuzzy and PID Control System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 452, no. 4, p. 042075, Dec. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/452/4/042075.
- [8] B. J. Kumar and A. Chandramouli, "Modeling and simulation of nine-level cascaded H-bridge inverter based shunt active power filter for single-phase distribution system," in *2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*, Nov. 2017, no. Icici, pp. 675–680. doi: 10.1109/ICICI.2017.8365221.
- [9] Steven Keeping, "An Introduction to Brushless DC Motor Control," *digikey*, 2013. <https://www.digikey.ca/en/articles/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control> (accessed Jun. 29, 2023).
- [10] R. C. C M and S. J S, "Bidirectional DC-DC Converter Fed BLDC Motor in Electric Vehicle," in *2021 International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)*, Feb. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICAECT49130.2021.9392394.
- [11] H. Yin, W. Yi, K. Wang, J. Guan, and J. Wu, "Research on brushless DC motor control system based on fuzzy parameter adaptive PI algorithm," *AIP Adv.*, vol. 10, no. 10, p. 105208, Oct. 2020. doi: 10.1063/5.0025000.
- [12] C. R. Harahap, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *Electrician*, vol. 16, no. 3, pp. 338–345, Sep. 2022. doi: 10.23960/elc.v16n3.2388.
- [13] R. F. Anugrah, "Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Six Step Comutation Dengan Kontrol PID (Propotional Integral Derivative)," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 7, no. 2, pp. 57–63, Dec. 2020. doi: 10.21107/triac.v7i2.7923.
- [14] B. P. Putri, S. Sutedjo, O. A. Qudsi, and L. S. Mahendra, "Alat Penstabil Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontrol PID," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 134–140, Aug. 2022. doi: 10.23917/emit.v22i2.19384.
- [15] L. Gumilar, A. Kusumawardana, W. S. Nugroho, and M. Sholeh, "Power Quality Enhancement on Hybrid Power Plants Using Shunt Passive Power Filter and Detuned Reactor," in *2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*, Feb.

- 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICoSTA48221.2020.1570599090.
- [16] M. Mahmud, S. M. A. Motakabber, A. H. M. Z. Alam, and Anis Nurashikin Nordin, “Control BLDC Motor Speed using PID Controller,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 3, pp. 477–481, 2020, doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110359.
- [17] Agung Dwi Yulianta, S. P. Hadi, and Suharyanto, “PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DC (BLDC) MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY,” *Teknol. TECHNOSCIENTIA*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2015, doi: <https://doi.org/10.34151/technoscientia.v8i1.180>.
- [18] J. Jing, Y. Wang, and Y. Huang, “The fuzzy-PID control of brushless DC motor,” in *2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Aug. 2016, no. 2, pp. 1440–1444. doi: 10.1109/ICMA.2016.7558775.
- [19] M. Mahmud, S. M. A. Motakabber, A. H. M. Zahirul Alam, and A. N. Nordin, “Adaptive PID Controller Using for Speed Control of the BLDC Motor,” in *2020 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE)*, Jul. 2020, pp. 168–171. doi: 10.1109/ICSE49846.2020.9166883.
- [20] D. Irawan and P. Perdana SS, “Kontrol Motor Brushless DC (BLDC) Berbasis Algoritma AI - PID,” *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 2, no. 1, pp. 41–48, Mar. 2020, doi: 10.32528/elkom.v2i1.3146.
- [21] I. Setiawan, *KONTROL PID UNTUK PROSES INDUSTRI*. 2008.