

ANALISA PERBAIKAN RESPON SISTEM DARI PEMODELAN KECEPATAN MOTOR BLDC MENGGUNAKAN PENGENDALI PID DENGAN PENALARAN ZIEGLER-NICHOLS

FAJAR IRIANTO¹, SITTI AMALIA², ANDI M. NUR PUTRA³, SEPANNUR BANDRI⁴

Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang^{1,2,3,4}

email: fajaririanto86@gmail.com¹, sittiamalia@itp.ac.id², andimnurputra@itp.ac.id³, sepannurb@yahoo.com⁴

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rjtj.v6i2.4156>

Abstract: The BLDC motor has a hall effect sensor and is a sinkron motor with a permanent magnet. The system must move more slowly to achieve the set point when a BLDC motor fails because of the lag in response time that they exhibit. As a result, when using BLDC motors, control must be provided to guarantee that the intended reaction is obtained, that the response is quicker, and that the response has a lower error rate. PID control is the technique utilized for control. This study's objectives are to understand the advantages and disadvantages of utilizing PID control for BLDC response as well as the effects of employing PID control after using the Ziegler-Nichols method for BLDC response. The Ziegler-Nichols tuning method is employed. The study's findings demonstrated that, after performing repairs and obtaining a stable result on the 6th experiment by entering the value $P = 6,06$, $I = 0,0361$, $D = 0,134$, the system on the BLDC Motor Maxon EC 60 performed the transitional response from the running outcome on Matlab using the PID controller. It is therefore reasonable to draw the conclusion that the transient response is stable, with no overshoot and no discernible osilasi on the graph, such as at 1.000 rpm, which has a stable response spanning 0 to 999 rpm. By employing a delay time of 0.014 s and a rise time of 0.0044, the reaction delay time and rise time have also been enhanced.

Abstrak: Motor BLDC merupakan motor sinkron dengan permanen magnet, sehingga motor jenis ini dilengkapi dengan sensor hall-effect. Motor BLDC memiliki kekurangan yaitu pengendalian yang lebih rumit terhadap respon pergerakannya sehingga performa motor BLDC tidak konstan dan kesanggupan sistem untuk mengejar kecepatan agar mencapai set point ketika motor berputar menjadi faktor yang sangat penting sebagai ukuran kinerja pengendalian kecepatan motor. Oleh karena itu pada pengaplikasian motor BLDC, perlu diberikan pengontrol agar mampu mencapai performa respon yang diinginkan dan respon menjadi lebih baik lagi dan mempunyai tingkat error yang kecil. Kontroler yang digunakan yaitu kontrol PID. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh dan menganalisa respon kecepatan motor BLDC menggunakan kontrol PID dan Bagaimana pengaruh penggunaan kontrol PID setelah memakai metode Ziegler-Nichols terhadap respon transien motor BLDC. Metode yang digunakan yaitu metode tuning Ziegler-Nichols. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada Motor BLDC Maxon EC 60 performa respon transien sistem dari hasil running pada matlab dengan menggunakan pengendali PID, setelah melakukan penalaan ulang dan mendapatkan hasil yang stabil pada percobaan ke-6 dengan memasukan nilai $P=6.06$, $I=0.0361$, $D=0.134$. Sehingga dapat dianalisa bahwa respon transien telah stabil dengan tidak memiliki Overshoot, tidak adanya osilasi berkelanjutan pada grafik, seperti pada kecepatan 1.000 rpm memiliki sinyal respon yang stabil dari 0 sampai nilai 999 rpm. Pada respon waktu tunda dan waktu naik juga telah lebih baik ditunjukkan dengan nilai delay time yaitu 0,014 s serta nilai rise time yaitu 0,0044 s.

Kata kunci : Motor BLDC, Kontroler PID, Ziegler Nichols, Transien, Performansi

A. Pendahuluan

Seperti yang kita ketahui perkembangan pada motor BLDC pada saat ini mengalami peningkatan, dikarenakan oleh performa motor BLDC yang lebih baik dari pada motor DC konvensional. Motor Brushless DC sebagai penggerak sangat berperan dalam dunia industri seperti: otomotif, penerbangan dan eksplorasi luar angkasa hingga peralatan rumah tangga, dan dunia industri. Dalam motor BLDC, kontroler memiliki peran penting dalam mempengaruhi performansi dalam aplikasinya di dunia industri (Istiananda, 2016). Motor BLDC tidak memiliki sikat (Brush) sehingga tidak ada perawatan pada sikat agar tidak terjadinya percikan api pada sikat tersebut. Motor BLDC mempunyai kelebihan lain yaitu tidak ada energi listrik yang diserap oleh eksitasi medan magnet, tidak ada kerugian energi sehingga bisa efisien, tingkat kebisingan yang rendah saat berputar, karakteristik kecepatan dan juga memiliki torsi yang lebih tinggi rendah dibandingkan dengan motor DC maupun motor induksi, umur pemakaian yang lebih lama dan efisiensi yang tinggi (Amalia 2019). Adapun kekurangan dari motor BLDC pengendalian yang kecepatan lebih rumit terhadap respon pergerakannya sehingga performa motor BLDC tidak konstan (Wahab, 2020), dan kesanggupan sistem untuk mengejar kecepatan agar mencapai *set point* ketika motor berputar menjadi faktor yang sangat penting sebagai ukuran kinerja pengendalian kecepatan motor. Oleh karena itu pada pengaplikasian motor BLDC, perlu diberikan pengontrol agar mampu mencapai performa respon yang diinginkan dan lebih baik (Pane, dll, 2019). Untuk memperbaiki sistem yang digunakan pada kontroler menggunakan sinyal analog dan dapat meningkatkan performa respon *transient* motor BLDC agar menjadi lebih baik, kontroler yang biasa digunakan adalah kontroler Proporsional Integral Derivative (PID) yang dapat diperbaiki melalui nilai rise time, settling time, overshoot, hingga error steady state. PID memiliki tiga parameter gain, yaitu: proporsional gain (K_p), integral gain (K_i), dan derivatif gain (K_d). Pada controller PID ini secara kontinu menghitung kesalahan sebagai pembeda antara pada setpoint yang diinginkan. Agar sistem tersebut mempunyai kemampuan untuk meminimalkan kesalahan dengan penyetelan variabel kontrol yang digunakan dari sistem yang ditentukan (Anugrah 2020). Penalaan parameter-parameter PID kurang efektif bila dilakukan perhitungan matematis. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan metode penentuan parameter PID untuk plant yang akan dikendalikan, contohnya metode klasik dan metode Ziegler-Nichols. Dikarenakan pada penentuan parameter PID klasik biasanya tetap selama operasi, konsekuensinya pengendali menjadi tidak efisien untuk mengendalikan sistem jika ada gangguan yang tidak diketahui. Maka dari itu pememilihan kontrol PID sebagai kontrol yang dapat menciptakan kontrol sesuai dengan apa yang diharapkan dengan menggunakan penalaran Ziegler-Nichols untuk mencari nilai K_p, K_i, K_d secara matematis (Jamal, 2015).

B. Metode Penelitian

Jenis penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah simulasi dengan data-data yang diambil berdasarkan dari gambaran sebuah sistem sederhana pada masalah yang bersifat pemodelan dan simulasi dari Analisis Perbaikan Respon Sistem Dari Pemodelan Motor BLDC Menggunakan Pengendali PID Dengan Penalaran Ziegler-Nichols.

Alat dan bahan

Agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan lancar, maka dibutuhkan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung jalannya percobaan. Adapun alat dan bahan yang digunakan saat penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah jurnal-jurnal dan buku sebagai referensi, serta data-data sekunder.

2. Peralatan yang digunakan yaitu Laptop dan Software MATLAB.

Data-Data yang dibutuhkan

Dalam penelitian ini, memerlukan data yang di butuhkan untuk keperluan dan kebutuhan dalam penelitian. Maka data yang di perlukan adalah parameter motor BLDC sebagai berikut:

- 1) Induktansi Armature.
- 2) Momen Inersia Rotor.
- 3) Resistansi Armature.
- 4) Konstanta Torsi.
- 5) Konstanta Tegangan Balik
- 6) Kecepatan Konstan

Tabel 1. Spesifikassi Motor BLDC Maxon EC 60

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tegangan	V	48	Volt
Kecepatan Nominal	v	2,680	Rpm
Kecepatan Konstan	v	65	Rpm/V
Inersia	J	92,5	g.m ³
Konstanta Tegangan Balik	K _e	0,004	V/(rad/s)
Konstanta torsi	K _t	147	mN-m/A
Resistansi	R _a	1,03	Ω
Induktansi	L _a	0,82	mH

Model Matematika Motor BLDC Maxon EC 60 Dalam Fungsi Alih Untuk Mendapatkan Parameter PID

Setelah mendapatkan spesifikasi motor BLDC dapat melakukan perhitungan matematika agar dapat dimasukan kedalam transfer function pada matlab. Dengan memasukan data spesifikasi pada transfer function model matematika sebagai berikut (Oguntoyinbo 2009):

$$G_u = \frac{K_t}{(L_a J)s^2 + (R_a J + L_a)s + (R_a + K_e K_t)}$$

Dimana:

$$K_t = 147 \text{ mN-m/A}$$

$$K_e = 0,004 \text{ V/(rad/s)}$$

$$L_a = 0,82 \text{ mH}$$

$$R_a = 1,03 \text{ } \Omega$$

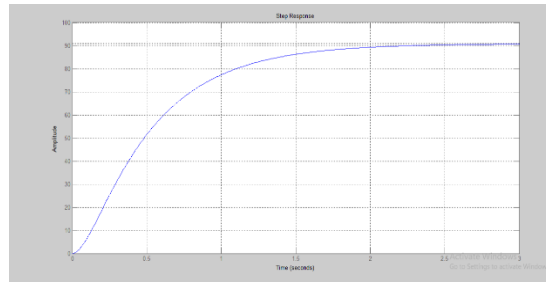
$$J = 92,5 \text{ g.m}^3 = 92,5 \times 10^{-3} = 0,0925 \text{ Kg.m}^3$$

Sehingga fungsi trasfer yang akan disimulasikan menjadi:

$$G_u = \frac{147}{[(0,82)(0,0925)]s^2 + [(1,03)(0,0925) + (0,82)]s + [(1,03) + (0,004)(147)]}$$

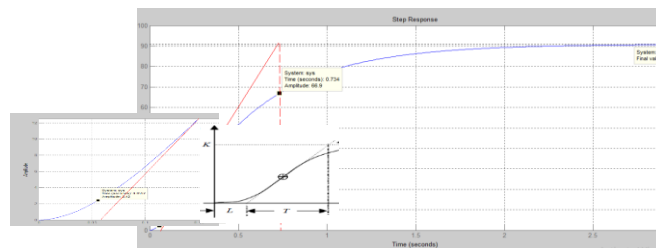
$$G_u = \frac{147}{0,07585s^2 + 0,915275s + 1,618}$$

Untuk mendapatkan nilai L dan T dapat diperoleh dengan cara melakukan persamaan matematika motor BLDC yang telah dimodelkan sebelumnya dalam transfer function diberikan *unit-step* dengan loop terbuka menggunakan perhitungan matematika dengan kode matlab dan mendapatkan hasil tranfer funtion seperti gambar berikut:



Gambar 1. Hasil Respon Transien Dari Perhitungan Kode Matlab

Setelah mendapatkan kurva respon, selanjutnya mencari nilai L dan T menggunakan titik infleksi dengan menggambar garis tangen pada titik infleksi tersebut, dapat dilakukan menggunakan program matlab. Kurva respon dengan garis tangen dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 2. Letak Nilai L dan T Pada Kurva Respon

Dari gambar 2, dapat diperoleh parameter PID (*Proportional, Integral, dan Derivative*) dengan cara mencari nilai waktu tunda (L) dan waktu konstan (T). Persamaan garis tersebut memiliki 2 buah titik koordinat yaitu titik (0,0557 dan 2,42) dan titik (0,734 dan 90,9).

Selanjutnya melakukan perhitungan sesuai persamaan yaitu bentuk umum persamaan garis lurus dan m adalah garis miring (Jamal, 2015) sebagai berikut:

$$Y_2 - Y_1 = m (X_2 - X_1)$$

$$90,9 - 2,42 = m (0,734 - 0,0557)$$

$$m = 130,4437$$

Garis tange memotong subu x di titik koordinat (x,0), maka:

$$Y_2 - 0 = m (X_2 - x)$$

$$90,9 - 0 = 130,4437 (0,734 - x)$$

$$x = 0,03715$$

Dari gambar 8, nilai waktu konstan (T) yaitu panjang dari titik koordinat (x,0) sampai titik koordinat (0,03715,0). Maka nilai waktu tunda (L) dan waktu konstan (T) sesuai persamaan adalah:

$$L = x = 0,03715$$

$$T = X_2 - x = 0,734 - 0,03715 = 0,69685$$

Setelah mendapatkan nilai L dan T maka parameter P, PI dan PID dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan yang metode pertama Ziegler-Nichols (Allu, dll, 2018) yaitu sebagai berikut:

1. Parameter PID

- a. Konstanta Proportional (K_p)

$$K_p = 22,51$$

- b. Konstanta Integral (K_i)

$$K_i = 302,96$$

- c. Konstanta Derivative (K_d)

$$K_d = 0,418$$

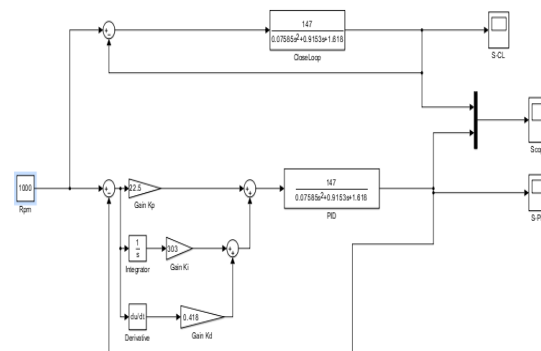
Nilai K_p , K_i , K_d pada kontrol P, PI dan PID dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Nilai Kp, Ki, Kd pada kontrol P, PI dan PID

Nilai	PID
Kp	22,5
Ki	303
Kd	0,418

Setelah mendapatkan nilai PID yaitu dengan menggunakan nilai P= 22,5; I= 303, D= 0,418. Akan dilakukan simulasi rangkaian dengan memasukan nilai transfer fungsi motor BLDC dan nilai PID yang telah didapatkan, jika hasil simulasi menggunakan nilai PID tersebut belum memiliki hasil baik atau jika masih terjadinya *overshoot* dan sinyal respon transien terjadi osilasi berkelanjutan, maka akan dilakukan penalaan ulang pada sinyal PID tersebut dan akan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai PID dengan cara mencari nilai L (waktu tunda) dan T (waktu konstan) dengan menggunakan penalaran Ziegler-Nichols agar sinyal respon transien tersebut stabil.

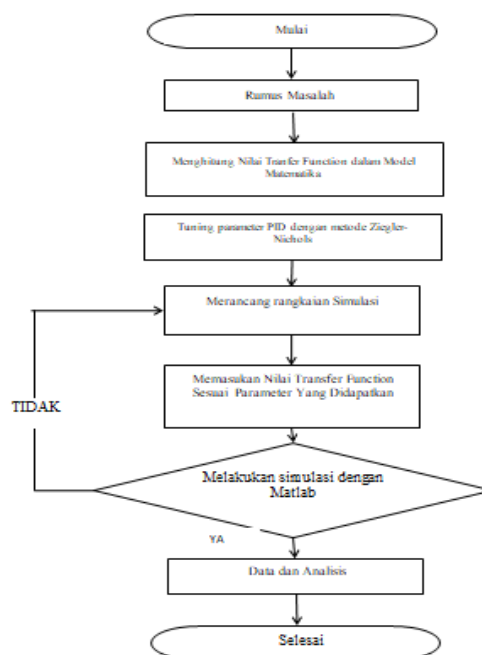
Rangkaian simulasi motor BLDC untuk melihat respon transien terhadap motor BLDC dengan menggunakan kontrol P, PI, PID dan tanpa Pengendali (Loop Tertutup) dengan nilai masukan kecepatan 500, 750, 1000, 1250,1500 Rpm seperti gambar berikut:



Gambar 3. Rangkaian Simulasi P, PI, PID dan Tanpa Pengendali Motor BLDC Maxon EC

60

Bagan alir penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

C. Hasil Dan Pembahasan

Percobaan Simulasi Kontrol PID

1. Percobaan ke-1

Simulasi dilakukan dengan memasukkan nilai input 1. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh respon transien motor pada kondisi steady state adalah sebesar 0,99. Respon motor BLDC dengan pengendali PID yaitu dengan menggunakan nilai $P= 22,5$; $I= 303$, $D= 0,418$ masih memiliki nilai puncak tertinggi sebesar 1,14 Amplitudo dan dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Respon Transien Kendali PID ke- 1 Terhadap Motor BLDC

2. Percobaan ke-2

Setelah dilakukan simulasi Motor BLDC dengan nilai masukan 1 dengan menggunakan Kontrol PID. Menunjukkan bahwa kontrol PID ke-1 masih memiliki *overshoot* sebesar 14,36%, dan masih memiliki nilai puncak yang melebihi nilai masukan sebesar 1,142; oleh karena itu akan dilakukan penalaan ulang menggunakan nilai PID sebelumnya yaitu dengan menggunakan nilai $P= 22,5$; $I= 303$, $D= 0,418$ dan pada hasil keluaran sinyal tersebut yang digunakan adalah nilai waktu tunda (L) dan waktu puncak tertinggi (T), sehingga mendapatkan hasil respon yang lebih baik lagi. Untuk mencari nilai L dan T dapat menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols dan menggunakan perhitungan matematik pada matlab sebagai berikut:

```

s= tf('s');
Ra = 1.03;
La = 0.82;
J = 0.0925;
Kt = 147;
Ke = 0.004;

num = Kt;
den = [(La*s) (Ra+J+La) (Ra+Ke*Kt)];
sys= tf(num,den)
step(sys)
%L:
L=0.0119;
T=0.072-L;
a=T/L;
Ti=2*L;
Td=0.5*L;

Rp=1.2*a;
Ki=Rp/Ti;
Kd=Rp*Td;
cont=pid(Rp,Ki,Kd)

grid on

```

```

sys =
-----
147
0.07585 s^2 + 0.9153 s + 1.618

Continuous-time transfer function.

cont =
-----
1
Rp + Ki * ---- + Kd * s
s

with Rp = 6.06, Ki = 255, Kd = 0.0361

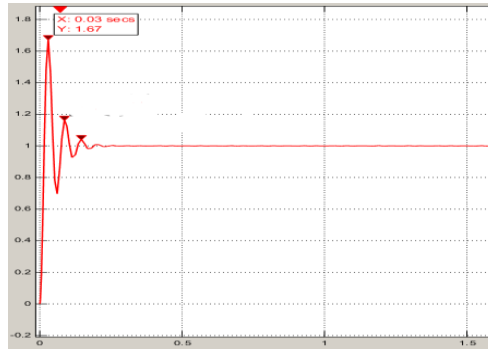
Continuous-time PID controller in parallel form.

% >> |

```

Gambar 6. Nilai PID pada percobaan ke-2

Mendapatkan nilai $K_p= 6,06$; $K_i= 255$, $K_d= 0,0361$. Simulasi dilakukan dengan memasukan nilai input 1. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh respon transien motor pada kondisi steady state adalah sebesar 0,99. Respon motor BLDC masih memiliki nilai puncak tertinggi sebesar 1,67 Amplitudo dan memiliki sinyal osilasi berkelanjutan dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 7. Percobaan Penalaan nilai PID Ke-2

3. Percobaan ke-3

Setelah dilakukan simulasi Motor BLDC dengan nilai masukan 1 dengan menggunakan Kontrol PID. Menunjukkan bahwa kontrol PID ke-1, dan 2 masih memiliki *overshoot*, masih memiliki nilai puncak yang melebihi nilai masukan sebesar dan bahkan masih memiliki isolasi berkelanjutan, oleh karena itu akan dilakukan penalaan ulang menggunakan nilai PID ke-3 yaitu dengan menggunakan metode kedua Ziegler-Nichols yaitu hanya menggunakan nilai kontrol *proportional* saja. Nilai P yang digunakan adalah nilai P pada percobaan PID ke-1 yaitu $P= 22,5$ dan nilai I dan D yaitu 0, sesuai dengan metode kedua Ziegler-Nichols. Perhitungan untuk mencari nilai I dan D menggunakan perhitungan matematik matlab dari persamaan metode kedua Ziegler-Nichols yaitu sebagai berikut:

```

s = tf('s');
Ra = 1.03;
La = 0.82;
J = 0.0925;
Kt = 147;
Ke = 0.004;

num = Kt;
den = [(La*J) (Ra*J+La) (Ra+Ke*Kt)];
sys = tf(num,den);
step(sys)
K=1;
L=0.0119;
T=0.072=L;
a=T/L;
Ti=2*L;
Td=0.5*L;

Kp=22.5;
Ki=Kp/Ti;
Kd=Kp*Td;
cont=pid(Kp,Ki,Kd)

sys =
          147
-----
0.07595 s^2 + 0.9153 s + 1.618

Continuous-time transfer function.

cont =

      1
  Kp + Ki * ---- + Kd * s
            s

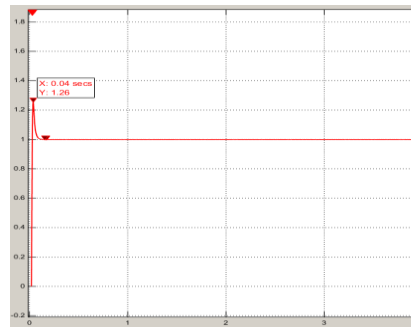
with Kp = 22.5, Ki = 945, Kd = 0.134

Continuous-time PID controller in parallel form.
f0 >> |

```

Gambar 8. Nilai PID ke-3 Pada Penalaan

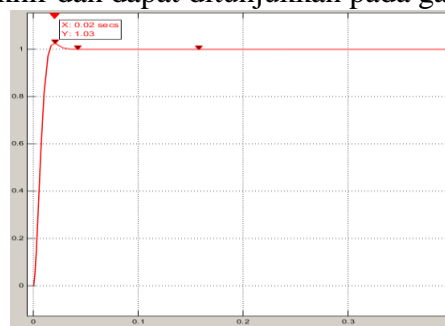
Mendapatkan nilai $K_p= 22,5$; $K_i= 945$, $K_d= 0,134$. Simulasi dilakukan dengan memasukan nilai input 1. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh respon transien motor pada kondisi steady state adalah sebesar 0,99. Respon motor BLDC masih memiliki nilai puncak tertinggi sebesar 1,67 Amplitudo dan memiliki sinyal osilasi berkelanjutan dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 9. Respon Transient Motor BLDC Pada Percobaan Ke-3

4. Percobaan ke-4

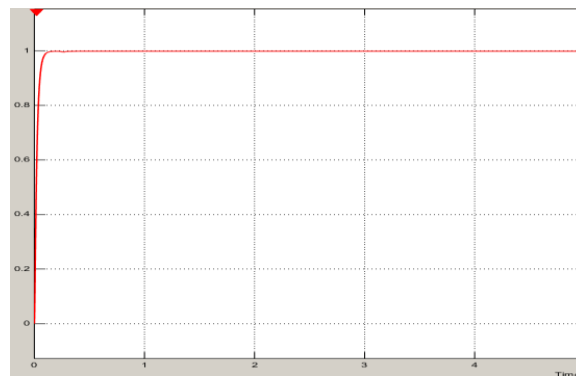
Simulasi dilakukan pada percobaan 4 kali ini karena pada percobaan 1 sampai percobaan 3 masih memiliki *overshoot* dan masih terjadi osilasi, maka dalam memasukan nilai P,I dan D dengan menggunakan nilai P pada percobaan 3 yaitu 22,5; memasukan nilai I dengan menggunakan nilai D pada percobaan 2 yaitu 0,0361, dan memasukan nilai D dengan menggunakan nilai D pada percobaan 3 yaitu 0,134 dan dengan nilai masukan yaitu 1. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh respon transien motor pada kondisi steady state adalah sebesar 0,99. Respon motor BLDC memiliki nilai pada puncak pertama yaitu 1.025 Amplitudo. Pada hasil menggunakan kontrol PID ini memiliki hasil yang cukup baik. Karena memiliki *overshoot* yang kecil, tidak adanya sinyal osilasi berkelanjutan, dan nilai waktu turun (*settling time*) pada kontrol PID pada percobaan ke-4 ini memiliki nilai turun yang cepat untuk mencapai nilai akhir dan dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 10 Respon Transient Motor BLDC Pada Percobaan Ke-4

5. Percobaan ke-5

Simulasi dilakukan pada percobaan 5 kali ini karena pada percobaan 1 sampai percobaan 3 masih memiliki *overshoot* dan masih terjadi osilasi, dan pada percobaan ke 4 masih terjadi sedikit *overshoot*, maka dalam memasukan nilai P,I dan D dengan menggunakan nilai P pada percobaan 2 yaitu 6,06; memasukan nilai I dengan menggunakan nilai D pada percobaan 2 yaitu 0,0361, dan memasukan nilai D dengan menggunakan nilai D pada percobaan 3 yaitu 0,134 dan dengan nilai masukan yaitu 1. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh respon transien motor pada kondisi steady state adalah sebesar 0,99. Respon motor ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 11. Respon Transient Motor BLDC Pada Percobaan Ke-5

Hasil respon pemodelan motor BLDC ini menggunakan kontrol PID mendapatkan hasil respon yang lebih baik, parameter respon yang diperoleh terhadap motor adalah :

Waktu yang diperlukan untuk mencapai setengah nilai akhir (Delay time) : 0,014 s

Nilai waktu naik untuk mencapai nilai akhir (Rise time) : 0,045 s

Nilai puncak yang diukur dari nilai akhir (Overshoot): -%

Nilai waktu turun yang diperlukan agar berada dalam nilai akhir (Settling time): - s

Nilai waktu maksimum pada puncak pertama (Peak time) : - s

Nilai pada puncak pertama: - Rpm

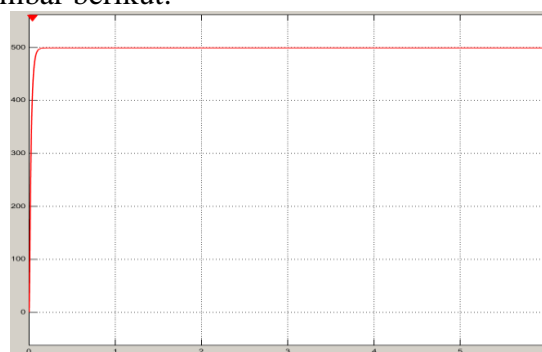
Pada hasil menggunakan kontrol PID pada percobaan ke-5 ini memiliki hasil yang lebih baik. Karena tidak memiliki *overshoot*, tidak adanya sinyal osilasi berkelanjutan, dan tidak adanya nilai puncak yang melebihi nilai masukan. Pada kontrol PID pada percobaan ke-5 ini memiliki sinyal respon yang stabil dari 0 sampai nilai 0,99.

Simulasi Motor BLDC Dengan Memasukan Nilai Kecepatan

Pada simulasi motor BLDC untuk melihat respon transien terhadap motor BLDC dengan menggunakan kontrol PID dengan memasukkan nilai PID yang memiliki hasil yang stabil dan baik dan tanpa Pengendali (Loop Tertutup) dengan nilai masukan kecepatan 500, 750, 1000, 1250,1500 Rpm dan transfer fungsi yang telah didapatkan.

1. Simulasi Motor BLDC Dengan Pengendali PID Dengan Menggunakan Kecepatan 500 Rpm

Simulasi dilakukan dengan memasukkan dengan kecepatan 500 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi steady state adalah sebesar 499 rpm. Respon kecepatan motor BLDC dengan kontrol PID ini dengan memasukkan kecepatan 500 rpm ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 12. Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Pengendali PID Dengan Nilai Input Kecepatan 500 Rpm

2. Simulasi Motor BLDC Dengan Pengendali PID Dengan Menggunakan Kecepatan 750 Rpm

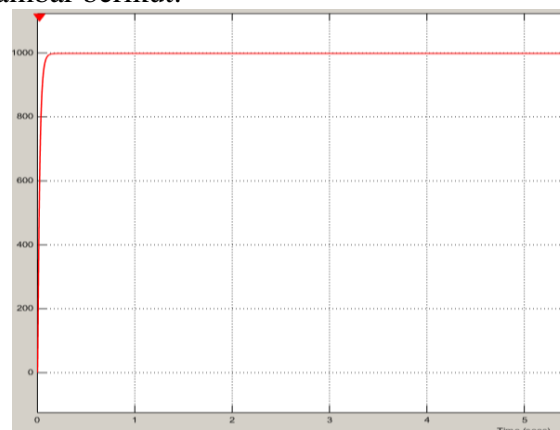
Simulasi dilakukan dengan memasukan dengan kecepatan 750 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi steady state adalah sebesar 749 rpm. Respon kecepatan motor BLDC dengan kontrol PID ini dengan memasukkan kecepatan 750 rpm ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 13. Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Pengendali PID Dengan Nilai Input Kecepatan 750 Rpm

3. Simulasi Motor BLDC Dengan Pengendali PID Dengan Menggunakan Kecepatan 1000 Rpm

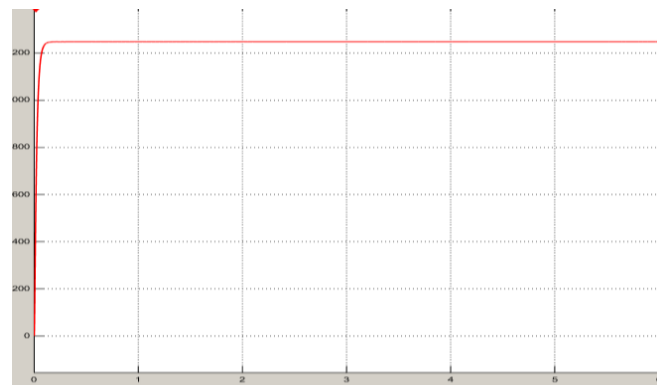
Simulasi dilakukan dengan memasukan dengan kecepatan 1.000 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi steady state adalah sebesar 998 rpm. Respon kecepatan motor BLDC tanpa pengendali ini dengan memasukkan kecepatan 1.000 rpm ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 14. Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Pengendali PID Dengan Nilai Input Kecepatan 1.000 Rpm

4. Simulasi Motor BLDC Dengan Pengendali PID Dengan Menggunakan Kecepatan 1250 Rpm

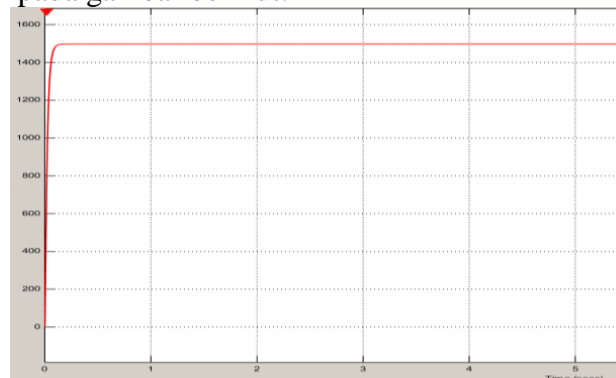
Simulasi dilakukan dengan memasukan dengan kecepatan 1.250 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi steady state adalah sebesar 1.248 rpm. Respon kecepatan motor BLDC dengan kontrol PID ini dengan memasukkan kecepatan 1.250 rpm ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 14. Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Pengendali PID Dengan Nilai Input Kecepatan 1.250 Rpm

5. Simulasi Motor BLDC Dengan Pengendali PID Dengan Menggunakan Kecepatan 1.500 Rpm

Simulasi dilakukan dengan memasukkan dengan kecepatan 1.500 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi steady state adalah sebesar 1.498 rpm. Respon kecepatan motor BLDC dengan kontrol PID ini dengan memasukkan kecepatan 1.500 rpm ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 15. Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Pengendali PID Dengan Nilai Input Kecepatan 1.500 Rpm

Perbandingan Simulasi Kontrol PID dan Tanpa Pengendali

Perbandingan respon kecepatan pada motor BLDC dengan menggunakan kontrol PID dan Tanpa Pengendali dengan memasukkan nilai input 500 rpm, 750 rpm, 1.000 rpm, 1.250 rpm dan 1.500 Rpm ditampilkan dalam bentuk grafik. Hasil perbandingan simulasi kontrol PID dan Tanpa Pengendali dengan nilai input kecepatan ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 3. Perbandingan Respon Transien Tanpa Pengendali Dengan Nilai Input Kecepatan

Kecepatan (Rpm)	Delay Time (s)	Rise Time (s)	Peak Time (s)	Settling Time (s)	Overshoot (%)	Steady State (Rpm)
500	0,024	0,025	0,071	0,502	68,8	495
750	0,024	0,0253	0,071	0,65	65,83	742
1000	0,024	0,025	0,07	0,645	65,83	989
1250	0,024	0,0253	0,072	0,64	65,83	1.233
1500	0,024	0,0253	0,071	0,64	65,83	1.479

Tabel 4. Perbandingan Respon Transien Kontrol PID Dengan Nilai Input Kecepatan

Kecepatan (Rpm)	Delay Time (s)	Rise Time (s)	Peak Time (s)	Settling Time (s)	Overshoot (%)	Steady State (Rpm)
500	0,0087	0,044	-	-	-	499
750	0,0092	0,044	-	-	-	749
1000	0,0168	0,05	-	-	-	998
1250	0,017	0,0448	-	-	-	1.248
1500	0,017	0,0448	-	-	-	1.498

Dari hasil perbandingan dan simulasi yang ditunjukkan dalam berbentuk grafik dan pada tabel diatas dapat di analisa sebagai berikut:

1. Pada Penggunaan kontrol PID, dan Tanpa Kontrol dengan memasukan nilai input kecepatan 500, 750, 1000, 1250, 1500 Rpm memiliki nilai yang sedikit berbeda pada nilai *delay time, rise time, peak time, settling time* dan *overshoot*.
2. Penggunaan Tanpa Kontrol memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan kontrol PID pada nilai *rise time*.
3. Sedangkan pengontrolan yang memiliki pengaruh yang baik yaitu kontrol PID yang memperoleh nilai waktu delay time memiliki nilai yang kecil yaitu 0,017 s; tidak adanya overshoot, peak time, dan settling time. Nilai steady state yang mendekati nilai masukan sebesar 1.498 Rpm pada nilai input kecepatan 1500 Rpm. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa penggunaan kontrol PID memiliki nilai steady state yang mendekati nilai input yang stabil dan memiliki nilai yang lebih baik di sisi Delay time, peak time, overshoot dan settling time dibandingkan dengan menggunakan Tanpa Pengendali

D. Penutup

Dari hasil penelitian yan dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan kontrol PID menggunakan penalaran Ziegler-Nichols ini dapat mempercepat waktu respon awal pada posisi start awal motor untuk mencapai nilai steady state yang mendekati nilai input kecepatan tetapi masih sedikit overshoo, peak time dan settling time. Setelah dilakukan penalaan ulang, pada percobaan penalaan PID ke-9 memiliki hasil yang baik dan stabil karena tidak adanya overshoot dan osilasi berkelanjutan.
2. Pengaruh terhadap nilai respon kecepatan 500, 750, 1000, 1250, dan 1500 rpm tidak memiliki pengaruh apapun disebabkan nilai respon tersebut memiliki sedikit perbedaan atau tidak terjadinya perubahan sinyal yang signifikan.

Daftar Pustaka

- Amalia, Sitti. 2019. "Implementasi 2 Lilitan Fasa Terhubung Terhadap Tegangan Pada Motor Brushless Direct Current (BLDC) Rotor Luar Dengan Analisis Anova" 8 (2): 99–108.
- Anugrah, Rafli Fajar. 2020. "Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Six Step Comutation Dengan Kontrol PID (Propotional Integral Derivative)." *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC* 7 (2): 57–63. <https://doi.org/10.21107/triac.v7i2.7923>.
- Istiananda, Ahmad Fachrudin. 2016. "Perancangan Dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Arus Searah Tanpa Sikat Menggunakan Metode PID-Robust." *Jurnal Teknik ITS* 5 (2): 1–7.
- Jamal, Zaidir, Jurnal Informatika, Zaidir Jamal, and Fakultas Ilmu Komputer. 2015. "IMPLEMENTASI KENDALI PID PENALAAAN ZIEGLER-NICHOLS" 15 (1): 81–88.
- N Allu, dll. 2018. "Prosiding Seminar Nasional 2018 Seminar Nasional Sinergitas

- Multidisiplin Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (SMIPT), Prosiding Seminar Nasional 2018 Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (SMIPT),” 1 (April): 9–10.
- Oguntoyinbo, dll. 2009. “PID CONTROL OF BRUSHLESS DC MOTOR AND ROBOT TRAJECTORY PLANNING AND SIMULATION WITH: pp. 11–15.”
- Pane, Jago, Ade Surya P, Siska Novita, Romy Mazmur P, and Solly Aryza. 2019. “Implementasi PID Dalam Mengendalikan Motor Menggunakan Metode PID Dan Mikrokontroler Atmega,” no. Mv: 196–201.
- Wahab, Faisal. 2020. “Perancangan Pengontrol Adaptive Fuzzy PID Pada Brushless DC Motor,” 21–27.