

ANALISA PERBAIKAN RESPON SISTIM DARI PEMODELAN KECEPATAN MOTOR BLDC MENGGUNAKAN METODE TUNING PID COHEN-COON

MUHAMMAD FIQRI¹, SITTI AMALIA²

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

Email: muhammadfiqri069@gmail.com¹, sittiamaia@itp.ac.id²

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v6i2.4169>

Abstrak: Seiring perkembangan zaman kemajuan akan teknologi berperan sangat penting salah satunya yaitu motor BLDC dikarenakan memiliki efisiensi yang tinggi, umur operasi yang panjang dan biaya perawatannya yang rendah. Hal ini mengakibatkan motor BLDC membutuhkan sistem pengendalian yang lebih kompleks. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan sistem kendali motor BLDC dengan pengendali P, PI dan PID menggunakan metoda Cohen-Coon pada Simulink/MATLAB. Pencarian nilai parameter K_p , T_i dan T_d dilakukan secara manual dan simulasi menggunakan Matlab. Kecepatan motor BLDC diatur beberapa variasi kecepatan yaitu dari 500, 750, 1000, 1250 dan 1500 rpm pada pengontrolan P dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm diperoleh kecepatan *steady state* sebesar 1500 rpm, *delay time* sebesar 0,03 s, *rise time* sebesar 0,007 s, *time* sebesar 0,02 s, *settling time* sebesar 0,39 s, dan *overshoot* sebesar 87,763%, pada pengontrolan PI dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm diperoleh kecepatan *steady state* sebesar 1500 rpm; *delay time* sebesar 0,03 s, *rise time* sebesar 0,008 s, *peak time* sebesar 0,02 s, *settling time* sebesar 0,52 s, dan *overshoot* sebesar 87,736%, pada pengontrolan PID dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm diperoleh kecepatan *steady state* sebesar 1500 rpm; *delay time* sebesar 0,02 s, *rise time* sebesar 0,07 s, *peak time* sebesar 0,02 s, *settling time* sebesar 0,95 s, dan *overshoot* sebesar 57,937%. Untuk perbaikan hasil sinyal pengontrolan PID digunakanlah nilai $K_p= 11,9$, $T_i= 0,09$, $T_d= 0,1$ dapat memperbaiki sinyal transien dan nilai *overshoot* nya dari 57,935% menjadi 1,531%, *rise time* dari nilai 0,076 s menjadi 0,014 s. Berdasarkan hasil simulasi BLDC dengan metode Cohen – Coon dapat memberikan respon *delay time* yang cepat

Kata kunci : Motor BLDC, PID, Penalaran Cohen-coon, Matlab.

A. Pendahuluan

Seiring perkembangan zaman, kemajuan akan teknologi yang berperan sangat penting dalam menunjang kehidupan manusia. Contoh penemuan yang mengalami kemajuan pesat yaitu motor listrik. Motor listrik adalah perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada perkembangan teknologi, penggunaan motor listrik semakin berkembang. BLDC merupakan sebuah PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) merupakan motor synchronous tiga fasa tanpa sikat. Motor BLDC merupakan pengembangan dari motor DC. Motor BLDC digunakan karena memiliki kelebihan yaitu memiliki tingkat efisiensi lebih tinggi, dimensi lebih kecil. Selain itu, dengan tidak adanya sikat arang maka perawatannya menjadi ringan, hampir tidak ada noise. Kelebihannya yaitu tanggap lebih cepat, umur pakai yang lama dan memiliki kecepatan yang tinggi. Motor BLDC dikendalikan secara elektronik (*sensor hall*) tanpa sikat sehingga mempunyai keuntungan seperti rasio inersia/torsi tinggi, efisiensi tinggi. Adapun kekurangan Motor Brushless DC yaitu tingkat pengendalian yang rumit dibanding Motor DC. Untuk memperbaiki motor BLDC agar berputar lebih konstan maka dilakukanlah perbaikan dengan cara pengontrolan agar kendali motor BLDC tetap konstan. Maka untuk melihat performa motor BLDC dapat dilakukan dengan cara membaca karakteristik motor dari nilai *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *error steady state*. Sehingga diperlukan sistem kendali PID memperbaiki performa motor BLDC. Penelitian ini berfokus pada penalaan parameter PID dengan model

matematis dan simulasi untuk mendapatkan kombinasi parameter kendali yang optimal. penulis akan melakukan perhitungan PID dengan metode (Cohen-Coon) akan di gunakan untuk menentukan parameter PID dan struktur Kontrol yang sesuai.

Motor Brush Less Direct Current (BLDC)

Pada penelitian ini menggunakan motor BLDC Maxon EC 60 memiliki diameter 60 mm yang memiliki daya 400 watt, kedua motor tersebut dilengkapi dengan *sensor hall*, motor BLDC maxon EC 60 dapat digunakan untuk; Mobil, perahu, sepeda listrik, perlengkapan rumah tangga, dll. Motor BLDC Maxon EC 60 seperti gambar berikut:



Gambar 1: Motor BLDC Macon EC 60

Brushless Direct current (BLDC) yaitu motor sinkron dengan magnet permanen yang menggunakan sensor posisi (effect hall) dan rangkaian inverter untuk mengendalikan arus warmature, pada penggerak motor BLDC tidak menggunakan brussh atau sekat pada bagian rotor, tetapi digantikan dengan lilitan yang terhubung dengan rangkain kontrol elektronik. Jadi dapat di simpulkan proses komutasi pada motor BLDC menggunakan elektronik. Pada rotor terdapat magnet permanen dengan kutub yang berselang-seling. Sementara itu stator tersusun dari kumparan yang terbagi dalam tiga bagian dan dengan pola yang sesuai dengan pola magnet permanen, ketiga bagian kumparan tersebut kemudian akan dibentuk menjadi sambungan bintang atau delta.

Pada, perhitungan matematika motor BLDC dapat dinyatakan dalam fungsi transfer motor BLDC berdasarkan parameter motor BLDC yang di dapat dari transformasi laplace. Setelah mendapatkan parameter motor BLDC dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut

$$G_u = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{s^2 + As + B}$$

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

Dimana:

G_u = Tranfer Fungsi Alih

$Y(s)$ = Nilai Output

$U(s)$ = Nilai Input

L_a = Induktansi

J = Momen Inersia Rotor

R_a = Resistansi

K_f = Koefisien Gesek

K_e = Konstanta Tegangan Balik

K_t = Konstanta Torsi

Metoda PID

Sistem kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (feedback) pada sistem tersebut. Sistem kendali PID terdiri dari tiga buah cara perhitungan yaitu P (*Propotional*), D(*Derivative*) dan I (*Intergal*). Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional plus integral plus differensial (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

Tabel 1: Kekurangan dan Kelebihan PID

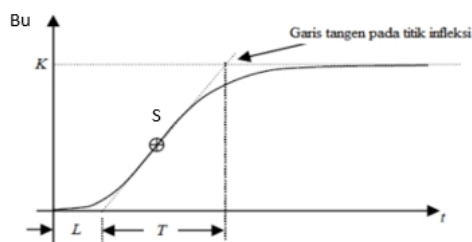
	Closed-Loop Response	Rise Time	Overshot	Setling Time	SS Error
Kp	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Menurunkan	
Ki	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Mengeliminasi	
Kd	Perubahan Kecil	Menurunkan	Menurunkan	Perubahan Kecil	

Nilai konstanta pada k_p , k_i , dan k_d bersifat tidak independent sehingga dalam merancang sistem Kontrol PID banyak melakukan dengan cara coba-coba (trial & error). Untuk mendapatkan hasil terbaik, perancang dapat mengatur dan terus mencoba kombinasi konstanta tersebut

Metode Tuning cohen – coon

Penalaan parameter kontroler PID selalu di sasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang di atur (plant). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus di ketahui terlebih dahulu sebelum penalaran parameter PID itu di lakukan. Karena penyusunan model matematika plant tidaklah mudah maka di kembangkan lah satu metode ekspremental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang di kenai satu perubahan, dengan metode ini penalaan kontroler PID dapat dilakukan dengan mudah, ada beberapa cara untuk menentukan nilai apa yang digunakan untuk para meter PID dalam pengontrolan, dan menggunakan metode Cohen Coon adalah salah satu metode dengan melihat respon sistem tanpa kontroler dan dapat di ketahui perubahan langkah secara manual menggunakan metode Cohen Coon,

Dari respon metode Cohen-coon terdapat tiga parameter: K , T_d dan T , maka K adalah keadaan tunak keluaran di bagi dengan perubahan langkah masukan, T_d adalah konstanta waktu efektif dari respons orde pertama, dan T adalah Waktu mati.



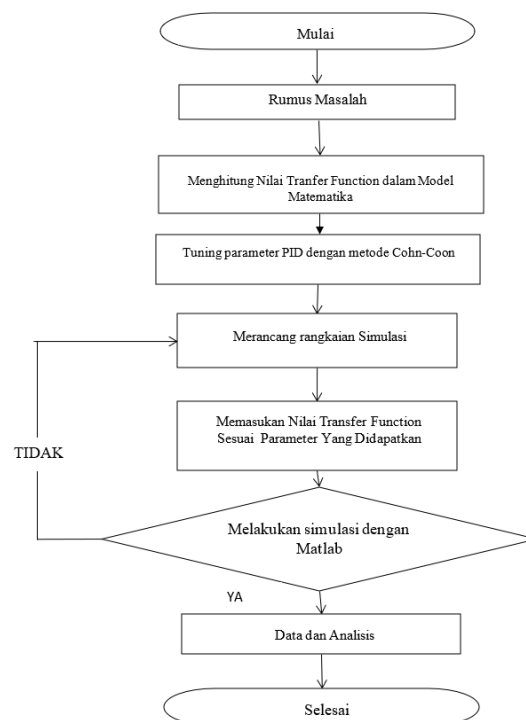
Gambar 2: Analisis respon plant tuning Cohen-Coon

Sinyal di atas menunjukkan kurva reaksi dari motor BLDC, kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (*delay time*) L dan waktu tunda T . Kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L (T_d). Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah 60% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L (T_d), dengan K sebagai konstanta.

Tabel 2. Rumus Penalaran Parameter Cohen-Coon

Controler	k_c	T_i	T_d
P	$K_p = \frac{1}{k} \left(\frac{t_d}{T} \right) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{t_d}{T} \right) \right]$	-	-
PI	$K_p = \frac{1}{k} \left(\frac{T}{t_d} \right) \left[\frac{9}{10} + \left(\frac{t_d}{T} \right) \right]$	$T_i = t_d \left[\frac{30 + 3 \left(\frac{t_d}{T} \right)}{9 + 20 \left(\frac{t_d}{T} \right)} \right]$	-
PID	$K_p = \frac{1}{k} \left(\frac{T}{t_d} \right) \left[\frac{4}{3} + \left(\frac{t_d}{4T} \right) \right]$	$T_i = t_d \left[\frac{32 + 6 \left(\frac{t_d}{T} \right)}{13 + 8 \left(\frac{t_d}{T} \right)} \right]$	$T_d = t_d \left[\frac{4}{11 + 2 \left(\frac{t_d}{T} \right)} \right]$

B. Metode Penelitian



Data Spesifikasi Motor BLDC

Untuk keperluan simulasi dalam melihat respon transien pada motor BLDC diperlukan data spesifikasi motor BLDC agar dapat dimasukkan kedalam fungsi transfer pada matlab, data spesifikasi motor BLDC Maxon EC 60 sebagai berikut:

Tabel 3: Spesifikasi Motor BLDC Maxon EC 45

Parameter	Simbol	Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan	V	Tegangan	48	Volt
Kecepatan Nominal	v	Kecepatan Nominal	2,680	Rpm
Kecepatan Konstan	v	Kecepatan Konstan	65	Rpm/V
Inersia	J	Inersia	92,5	g.m ³
Konstanta Tegangan Balik	K _e	Konstanta Tegangan Balik	0,004	V/(rad/s)
Konstanta torsi	K _t	Konstanta torsi	147	mN-m/A
Resistansi	R _a	Resistansi	1,03	Ω
Induktansi	L _a	Induktansi	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 dimasukkan kedalam transfer function pada matlab. Dengan memasukan data spesifikasi dari tabel 4.1 kedalam persamaan (2.15), maka transfer function model matematika sebagai berikut:

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

Dimana:

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

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

$$L_a = 0,560 \text{ mH}$$

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

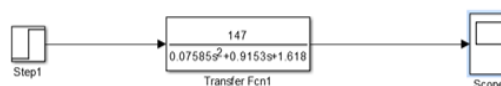
$$J = 92,5 \text{ g.m}^3 = 92,5 \times 10^{-3} = 0,0925 \text{ Kg.m}^3$$

Sehingga fungsi transfer yang akan disimulasikan menjadi :

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

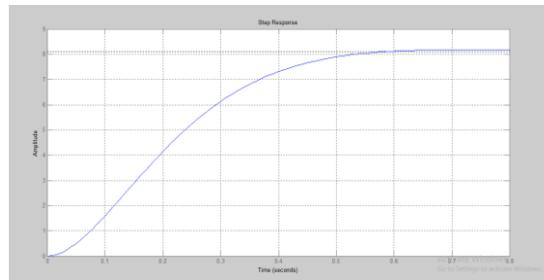
$$G_u = \frac{147}{0,07585s^2 + 0,9153s + 1,618}$$

Rangkaian Simulasi Motor BLDC Maxon EC 60 Open Loop

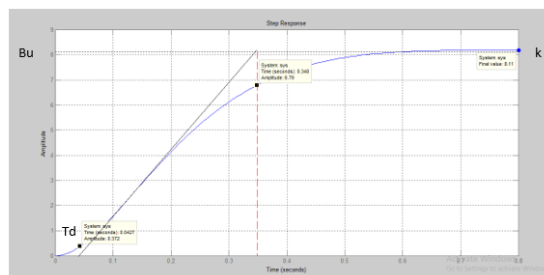


Gambar 3: Simulasi Motor BLDC Dengan Loop Terbuka

Pada rangkaian Open Loop menggunakan nilai akhir 1 dan hasil dari simulasi tersebut untuk mendapatkan kurva respon, seperti gambar berikut:



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:



Dari gambar diperoleh parameter PID dengan mencari nilai K_p , T_d dan T dari persamaan berikut:

$$T_d = 0,0424$$

$$S = 4,3 - 0,0424 / 0,2 = 21,288$$

$$T = Bu/S$$

$$T = 8,11 / 21,288 = 0,38$$

$$K_p = Bu/m = 8,11 / 8,11 = 1$$

Jadi nilai parameter dari hasil garis tangen di atas yaitu:

$$T_d = 0,0424$$

$$T = 0,38$$

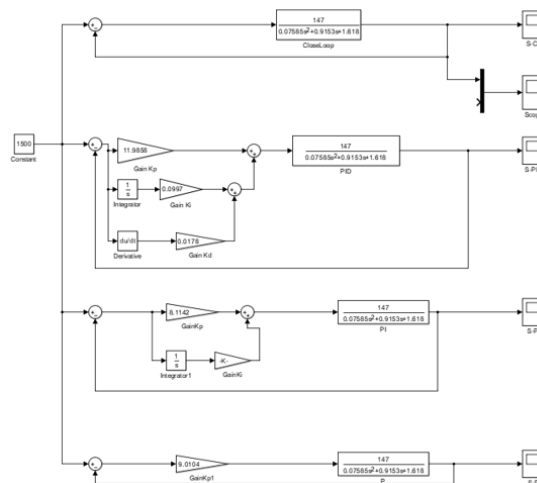
$$K_p = 1$$

Setelah mendapatkan nilai T_d , T dan K_p maka parameter P, PI dan PID dapat di peroleh dari tabel persamaan Cohen-Coon maka didapatkanlah nilai pada tabel berikut:

Nilai	K_p	T_i	T_d
P	9,01	0	0
PI	8,1142	0,114	0
PID	11,98	0,099	0,017

Rangkaian Simulasi Motor BLDC Maxon EC45 Menggunakan Kontrol P, PI dan PID dan Tanpa PID

Pada simulasi motor BLDC dengan menggunakan pengontrolan P, PI dan PID diberikan masukan kecepatan yaitu 500 rpm, 750 rpm, 1000rpm, 1250rpm, dan 1500 rpm tanpa menggunakan beban. Rangkaian simulasi motor BLDC untuk melihat respon transien terhadap motor BLDC dengan menggunakan kontrol P, PI dan PID dan Loop Tertutup ditunjukkan seperti gambar berikut:



Gambar 4: Rangkaian Simulasi P, PI, PID dan Tanpa Pengendali Motor BLDC Maxon EC

60

Variabel yang Diamati

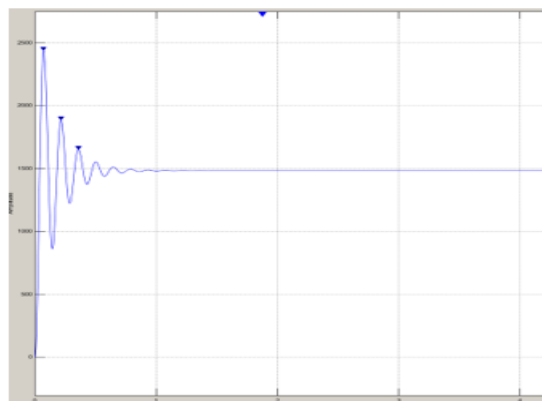
Variabel-variabel yang diamati antaralain:

1. Rise time (t_r)
2. Setling time (t_s)
3. Delay time (t_d)
4. Peak time (t_p)
5. Overshoot (o_v)
6. Propotional gain (k_p)
7. Integral gain (K_i)
8. Derivative gain (K_d)

C. Hasil dan Pembahasan

Simulasi Motor BLDC Dengan Loop Tertutup

Simulasi dilakukan dengan memasukkan dengan kecepatan 1500 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi steady state adalah sebesar 1336,86 rpm. Respon kecepatan motor BLDC tanpa pengontrolan ini dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm di tunjukkan pada gambar berikut:

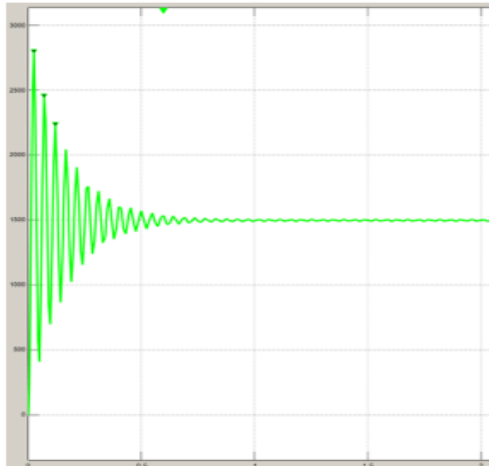


Gambar 5: Respon Kecepatan Motor BLDC Tanpa Pengontrol dengan Memasukkan kecepatan 1500 rpm

Simulasi BLDC Menggunakan Pengendali P

Simulasi dilakukan dengan memasukkan dengan kecepatan 1500 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi *steady state* adalah sebesar 1500 rpm.

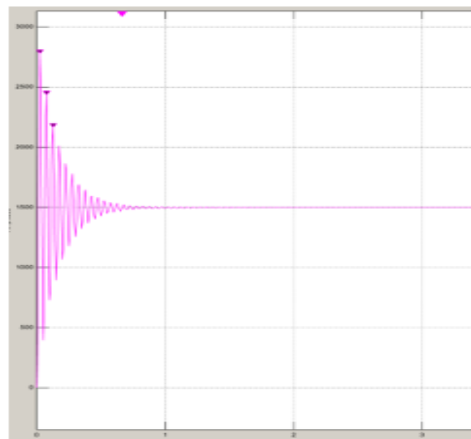
Respon kecepatan motor BLDC pengontrolan P ini dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm di tunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 6: Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontrol P dengan Memasukan kecepatan 1500 rpm

Simulasi Motor BLDC Menggunakan Kendali PI

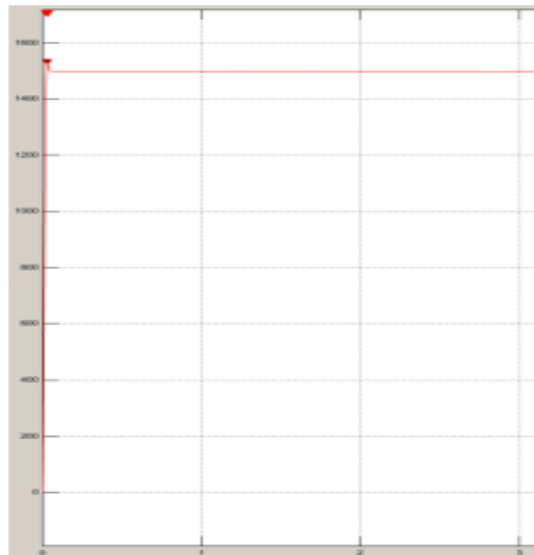
Simulasi dilakukan dengan memasukkan dengan kecepatan 1500 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi *steady state* adalah sebesar 1475,14 rpm. Respon kecepatan motor BLDC pengontrolan PI ini dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm di tunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 7: Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontrol PI dengan Memasukan kecepatan 1500 rpm

Simulasi Motor BLDC Menggunakan Kendali PID

Simulasi dilakukan dengan memasukkan dengan kecepatan 1500 rpm. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh kecepatan motor pada kondisi *steady state* adalah sebesar 1500 rpm. Respon kecepatan motor BLDC pengontrolan PID ini dengan memasukkan kecepatan 1500 rpm di tunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 8: Respon Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontrol PID dengan Memasukan kecepatan 1500 rpm

Perbandingan Simulasi Kontrol P,PI,PID dan Loop Tertutup Terhadap Motor BLDC Maxon EC 45

Perbandingan respon kecepatan pada motor BLDC dengan menggunakan kontrol P, PI,PD, PID dan loop tertutup dengan memasukkan 500 rpm, 750 rpm, 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm ditampilkan dalam bentuk grafik. Hasil perbandingan simulasi kontrol P, PI, PID dan loop tertutup ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 4: Tabel Perbandingan Respon Transien Loop Tertutup Dengan Memasukkan Kecepatan 500 rpm,750 rpm, 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm

Kontrol	500 rpm	750 rpm	1000 rpm	1250 rpm	1500 rpm
Delay Time (s)	0,052	0,012	0,013	0,091	0,081
Rise Time (s)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Peak Time (s)	0,11	0,07	0,07	0,07	0,07
Settling Time (s)	0,68	0,52	0,52	0,49	0,49
Overshoot (%)	65,833 %	65,833 %	65,833 %	65,833 %	65,833 %

Tabel 5: Tabel Perbandingan Respon Transien Kontrol P Dengan Memasukkan Kecepatan 500 rpm,750 rpm, 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm

Kontrol	500 rpm	750 rpm	1000 rpm	1250 rpm	1500 rpm
Delay Time (s)	0,035	0,031	0,035	0,021	0,031
Rise Time (s)	0,078	0,08	0,078	0,007	0,007
Peak Time (s)	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02
Settling Time (s)	0,38	0,49	0,38	0,31	0,39
Overshoot (%)	87,736 %	80,909 %	87,736 %	84,259 %	87,736%

Tabel 6: Tabel Perbandingan Respon Transien Kontrol PI Dengan Memasukkan Kecepatan 500 rpm, 750 rpm, 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm

Kontrol	500 rpm	750 rpm	1000 rpm	1250 rpm	1500 rpm
Delay Time (s)	0,04	0,05	0,07	0,02	0,03
Rise Time (s)	0,08	0,085	0,085	0,014	0,008
Peak Time (s)	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02
Settling Time (s)	0,61	0,47	0,43	0,21	0,52
Overshoot (%)	80,909 %	84,259 %	84,259 %	87,736 %	87,736 %

Tabel 7: Tabel Perbandingan Respon Transien Kontrol PID Dengan Memasukkan Kecepatan 500 rpm, 750 rpm, 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm

Kontrol	500 rpm	750 rpm	1000 rpm	1250 rpm	1500 rpm
Delay Time (s)	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02
Rise Time (s)	0,074	0,075	0,076	0,007	0,007
Peak Time (s)	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Settling Time (s)	0,13	0,3	0,09	0,1	0,95
Overshoot (%)	57,937 %	60,484 %	60,484 %	60,484 %	57,937 %

D. Penutup

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan dalam berbentuk grafik, penggunaan kontrol PID memberikan pengaruh yang lebih baik di dibandingkan dengan penggunaan kontrol P dan PI. Hal ini dapat dilihat pada kurva perbandingan yang menunjukkan cepatnya proses star awal pada penggunaan kontrol PID. Dari tabel hasil simulasi pada masukan kecepatan 500 rpm, pada close loop diperoleh waktu delay time sebesar 0,38 s; rise time sebesar 0,55 s; peak time sebesar 0,145 s; setling time sebesar 0,557 s dan overshoot sebesar 40,147 %. Sedangkan pengontrolan yang baik yaitu PID memperoleh nilai waktu delay time sebesar 0,012 s; rise time sebesar 0,14 s; peak time sebesar 0,148 s; setling time sebesar 0,32s dan overshoot

sebesar 57,937% s. hasil simulasi ini menunjukkan bahwa penggunaan kontrol PID lebih baik di sisi *Delay time*, *rise time* dan *settling time* lebih kecil dibandingkan dengan close loop, P dan PI.

2. Dari penelitian ini terbukti bahwa pengontrolan menggunakan metoda Cohen-coon ini dapat mempercepat waktu respon awal pada posisi start awal motor.

Daftar Pustaka

- Amalia, S. (2019) 'Implementasi 2 Lilitan Fasa Terhubung Terhadap Tegangan Pada Motor Brushless Direct Current (BLDC) Rotor Luar Dengan Analisis Anova', 8(2), pp. 99–108.
- As-salaf, M.H.A. (2021) 'Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC menggunakan Software PSIM', 6(1), pp. 103–117.
- Suryatini, F. and Firasanti, A. (no date) 'KENDALI P , PI , DAN PID ANALOG PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC DENGAN PENALAAAN ZIEGLER-NICHOLS', 6(1), pp. 65–80.
- Wahab, F. (2020) 'Perancangan Pengontrol Adaptive Fuzzy PID pada Brushless DC Motor', pp. 21–27.
- Wicaksono, H. (2004) 'Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC', 4(2), pp. 70–78.
- Alim, A.F. (2020) , *SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DC (BLDC) DENGAN PENGENDALI PI* .