

PERANCANGAN *SELF BALANCING TWINCOPTER* MENGGUNAKAN KONTROLER PID DENGAN METODE *COHEN – COON*

Jepri Iswantoro

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : jepriiswantoro16050874022@mhs.unesa.ac.id

Muhamad Syariffuddin Zuhrie

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : zuhrie@unesa.ac.id

Abstrak

Twincopter atau *twinrotor* merupakan jenis *multycopter* yang memiliki sistem penggerak motor propeler pada dua motor sejajar horizontal yang saat ini banyak dikembangkan, pada *Twincopter* atau *twinrotor* permasalahan yang sering terjadi yaitu stabilitas pada saat beban tidak seimbang. Terdapat berbagai macam sistem pengendalian yang dapat digunakan, diantaranya kendali *on / off* pada pengendalian ini masih belum mampu menyeimbangkan *Twincopter* atau *twinrotor* dengan baik pada penerapannya. Berdasarkan latar belakang masalah *self balancing* pada *Twincopter* atau *twinrotor* maka akan dilakukan perancangan penelitian yang dapat mengembangkan dan mengatasi permasalahan yang ada pada *Twincopter* atau *twinrotor*, diharapkan mampu mengatasi permasalahan *self balancing* pada *Twincopter* yang nantinya dapat menstabilkan dan mempercepat respon saat kondisi beban yang tidak seimbang maupun seimbang. Pada hasil perancangan penelitian ini menunjukkan bahwa *self balancing Twincopter* dengan pengendalian PID dapat memberikan kontrol *self balancing* sesuai setpoint dengan baik. Pada penerapan pengendalian kontrol PID *Self Balancing Twincopter* dengan respon sistem dinamis yang didapat dari simulasi metode tuning *Cohen-Coon* yaitu nilai $K_p = 3,09$, $K_i = 3,028$ dan $K_d = 0,46$ yang dapat memperbaiki M_p (simpangan maksimum) respon sistem = 0,17 % dan $E_{ss} = 0,038\%$ dengan $t_d = 0,21$ s, t_r (5% – 95%) = 0,47 s, t_s (5%) = 1.26 s.

Kata Kunci: *Twincopter Multirotor, Self Balancing, PID Cohen - Coon.*

Abstract

Twincopter or *twinrotor* is a type of *multycopter* that has a *propeller* motor drive system on two horizontal aligned motors which are currently being developed, at *Twincopter* or *twinrotor* the problem that often occurs is stability when the load is unbalanced. There are various kinds of control systems that can be used, including the *on / off* control in this control is still not able to balance *Twincopter* or *twinrotor* properly in its application. Based on the background of *self-balancing* problems on *Twincopter* or *twinrotor*, a research design that can develop and overcome existing problems in *Twincopter* or *twinrotor* will be expected to be able to overcome the *self-balancing* problems in *Twincopter* which can stabilize and accelerate responses when unbalanced load conditions or balanced. The results of the design of this study indicate that *Twincopter self balancing* with PID control can provide *self-balancing* control according to setpoint well. In the application of the control control PID *Self Balancing Twincopter* with dynamic system responses obtained from the simulation of the *Cohen-Coon* tuning method namely $K_p = 3.09$, $K_i = 3.028$ and $K_d = 0.46$ which can improve the (M_p) maximum deviation system response = 0.17% and $E_{ss} = 0.038\%$ with $t_d = 0.21$ s, t_r (5% - 95%) = 0.47 s, t_s (5%) = 1.26 s.

Keywords: *Twincopter Multirotor, Self Balancing, PID Cohen-Coon.*

PENDAHULUAN

Pengembangan *Unmanned Aerial Vehicle* atau biasa disebut UAV yang menjadi salah satu penelitian yang sedang dikembangkan untuk riset sebagai pencarian korban bencana alam dan mendeteksi aktivitas gunung berapi, berbagai jenis UAV yang dikembangkan diantaranya *helicopter*, *fixed wing* dan *multicopter* banyak tipe pada *multicopter* diantaranya yaitu *Twincopter* atau *twinrotor* yang memiliki dua buah baling-baling (I. Suroso,2016).

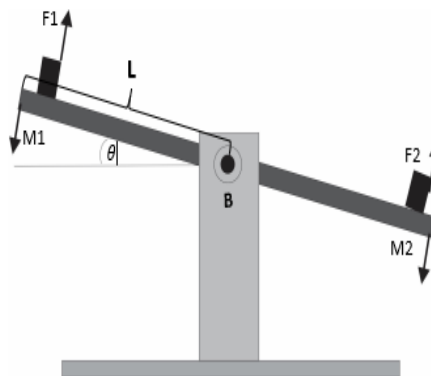
Twincopter atau *twinrotor* yang banyak dilakukan pengembangan saat ini merupakan sistem dengan penggerak dua motor beserta propeler yang memiliki sistem *Vertical Take Of and Landing*, Permasalahan pada *Twincopter* atau *twinrotor* pada stabilitas saat menerima beban tidak seimbang yang dapat mempengaruhi *Twincopter* atau *twinrotor*. Terdapat berbagai macam sistem pengendalian diantaranya sistem *on* atau *off*, pengendalian ini masih belum mampu menyeimbangkan *Twincopter* atau *twinrotor* dengan baik pada penerapannya (Masahiko dkk : 2012).

Berdasarkan latar belakang masalah *self balancing* pada *Twincopter* atau *twinrotor* maka akan dilakukan perancangan penelitian yang dapat mengembangkan dan mengatasi permasalahan yang ada pada *self balancing Twincopter* atau *twinrotor*, pada perancangan penelitian kali ini penulis mengambil judul “Perancangan *Self Balancing Twincopter* Menggunakan Kontroler PID dengan Metode *Cohen - Coon*”, diharapkan perancangan ini mampu mengatasi permasalahan pada *Twincopter* yang dapat menstabilkan dan mempercepat respon saat kondisi beban tidak seimbang maupun kondisi seimbang pada *Twincopter* atau *twinrotor*.

Pemodel Plant

Twincopter atau *twinrotor* merupakan sistem dengan penggerak dua motor beserta propeler yang memiliki sistem *Vertical Take Of and Landing*, Kestabilan rotor saat menjalankan sistem dengan putaran arah yang berlawanan sebagai sistem dinamik diperlukan pengontrolan kecepatan sistem bergerak vertikal dengan kestabilan tinggi.

Persamaan gaya pada torsi yang diterapkan pada sistem *Twincopter* atau *twinrotor* dapat menggunakan metode Newton. Kosentrasi massa yang berada pada massa kiri dan massa kanan, Koefisien redaman, Momen Inersia dan panjang lengan pada plant pada gambar 1 dapat dituliskan persamaan (1)



Gambar 1. Skema Gaya pada Plant Sistem (Hossealizade,2016)

$$j\ddot{\theta} = \sum T = F_1L - F_2L - M_1Lg\cos\theta + M_2Lg\cos\theta - B\dot{\theta} \quad (1)$$

Persamaan pada sistem linierisasi menggunakan variabel keadaan x_1, x_2 yang ditunjukkan pada persamaan (2)

$$\begin{aligned} x_1 &= \theta \\ x_2 &= \omega = \dot{\theta} \end{aligned} \quad (2)$$

Sehingga persamaan sistem nonlinier adalah

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 = f_1(t) \\ \dot{x}_2 &= \ddot{\theta} = \frac{1}{j}(F_1L - F_2L - m_1Lg\cos\theta + m_2Lg\cos\theta - B\dot{\theta}) = f_2(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Dengan cara metode jacoboi kita dapat melinearkan persamaan (3)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} &= J_x(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{Lg\sin(0)}{j} & \frac{-B}{j} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial F} \\ \frac{\partial f_2}{\partial F} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

Sehingga persamaan pada *linear state space* menjadi :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ \dot{x} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{Lg\sin(0)}{(m_1-m_2)} & \frac{-B}{j} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} F \\ y &= Cx + Du \\ y &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

Fungsi dari transfer sistem adalah :

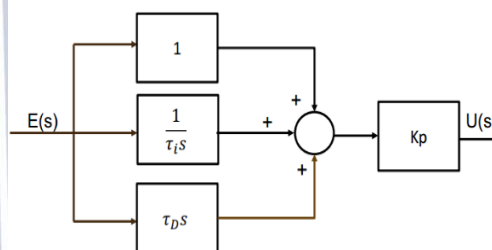
$$\begin{aligned} G(s) &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} s & -1 \\ \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j} & s + \frac{B}{j} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} \quad (6) \\ &= \frac{1}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \begin{bmatrix} s + \frac{B}{j} & 1 \\ \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j} & s \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{s + \frac{B}{j}}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} & \frac{1}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \\ \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} & \frac{s}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{s + \frac{B}{j}}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} & \frac{1}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \\ \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} & \frac{s}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{s + \frac{B}{j}}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} & \frac{1}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \\ \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} & \frac{s}{s(s+\frac{B}{j}) + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{L}{j} \\ s^2 + \frac{B}{j}s + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j} \end{bmatrix} \\ &= \frac{\frac{L}{j}}{s^2 + \frac{B}{j}s + \frac{Lg\sin(0)(m_1-m_2)}{j}} \\ G(s) &= \frac{L}{js^2 + Bs} \quad (7) \\ &= \frac{\frac{L}{j}}{s^2 + \frac{Bs}{j}} \end{aligned}$$

Keterangan

- $x_1 = \theta$ = Posisi sudut (rad)
- $x_2 = \dot{\theta}$ = Kecepatan sudut (rad/s)
- $\ddot{\theta}$ = Percepatan (rad/s²)
- F_1 = Gaya dorong trust 1 (kg)
- F_2 = Gaya dorong trust 2 (kg)
- ∂x_1 = Deferensial posisi sudut satu

- ∂x_1 = Deferensial posisi sudut dua
- ∂f_1 = Deferensial gaya dorong motor 1
- ∂f_2 = Deferensial gaya dorong motor 2
- ∂F = Deferensial percepatan
- y = Hasil variabel state
- g = Nilai gravitasi
- M_1 = Massa ujung kiri (kg)
- M_2 = Massa ujung kanan (kg)
- B = Koefisien redaman (g/mL)
- J = Moment inersia (Kg/m²)
- L = Panjang lengan (Cm)

Metode Kontroler P + I + D



Gambar 2. Struktur Kontrol PID
(Sumber : Ogata, 1985)

Metode yang sebagian besar digunakan pada pengontrolan PID diperlukan parameter untuk mendapatkan nilai yang dicari langkah dari kombinasi P, I maupun D dapat menemukan parameter nilai K_p , K_i maupun K_d

$$E(s) \rightarrow K_p \left[1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right] \rightarrow U(s)$$

Gambar 3. Blok Diagram Kontrol PID
(Sumber : Ogata, 1985)

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) E(s) \quad (8)$$

$$K_p = \frac{1.24}{gp} \left(\frac{\tau}{\tau_d} + 0.185 \right) \quad (9)$$

$$K_i = 2.5td \frac{\tau + 0.185 td}{\tau + 0.611 td} \quad (10)$$

$$K_d = 0.37td \frac{\tau}{\tau + 0.185td} \quad (11)$$

Keterangan :

- K_p = Penguatan proporsional
- K_i = Penguatan integratif
- K_d = Penguatan derivatif
- $\tau_i s$ = Konstanta waktu integral
- $\tau_d s$ = Konstanta waktu derivatif
- $U(s)$ = Sinyal kendali
- $E(s)$ = Sinyal error

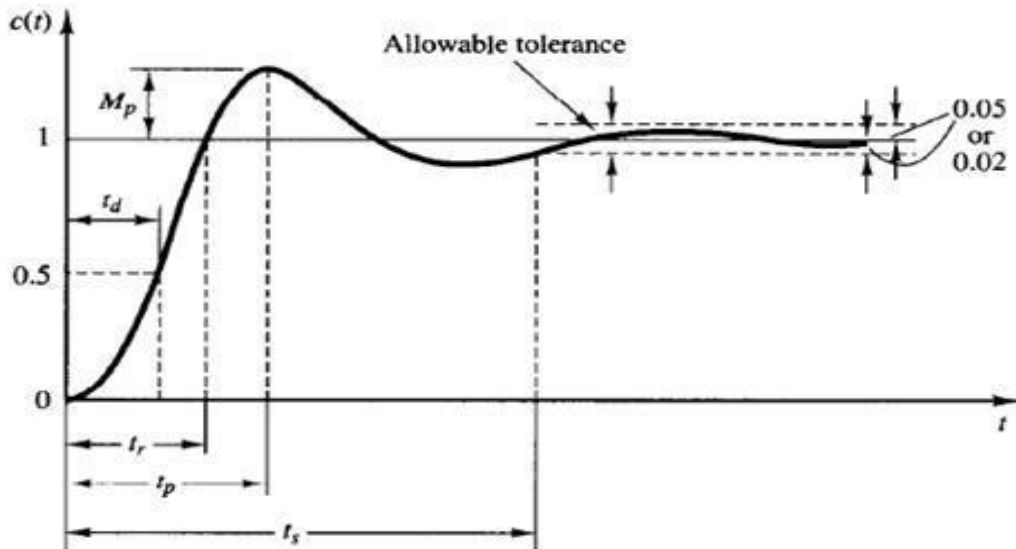
Karakteristik Sistem Orde Dua

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (12)$$

Dimana :

- K = Gain Overall
- ω_n = Frekuensi Alami
- ξ = Rasio Redaman

Bentuk dari Kurva respon sebagai input sinyal unit step ditunjukkan pada gambar 4 :



Gambar 4. Respon Orde Dua Terhadap Masukan Unit Step
(Sumber : Ogata, 1985)

Respon *Transient* dari sistem kontrol sering terdapat osilasi redaman saat mencapai *Steady State*. Karakteristik respon *Transient* dari sistem kontrol terhadap input unit-step, dapat menentukan parameter t_d , t_r , t_p , M_p , t_s .

- Delay time (t_d) merupakan waktu yang diperlukan respons untuk mencapai setengah dari nilai akhir untuk pertama kalinya.
- Rise time dalam Gambar 4 merupakan waktu simpangan maksimum (t_p) yang didapat saat respon naik dari 10 % - 90 %, dan 5 % - 95 %, atau 0 % - 100 %.
- Peak time (t_p) merupakan waktu simpangan maksimum yang diperlukan respons untuk mencapai puncak *overshoot* pertama.
- Maksimum *overshoot* merupakan nilai puncak maksimal kurva respon yang ditunjukkan pada Gambar 4 sistem orde dua dengan singkatan (M_p) simpangan

maksimum. Jika keadaan *steady state* nilai respon berbeda dari kesatuan, maka untuk menggunakan *maximum percent overshoot*. Ini didefinisikan :

$$MP \% = \frac{Y_p - Y_{SS}}{Y_{SS}} \times 100\% \quad (13)$$

- Jumlah maksimum (persen) *overshoot* langsung menunjukkan relatif stabilitas sistem.
- *Settling time* (t_s) merupakan waktu yang diperlukan kurva respons mencapai kisaran nilai akhir ukuran yang ditentukan oleh persentase absolut dari nilai akhir (biasanya 2% atau 5%). Waktu penyelesaian terkait dengan konstanta waktu terbesar dari sistem kontrol. Persentase kriteria kesalahan untuk dapat ditentukan dari tujuan desain sistem yang bersangkutan.

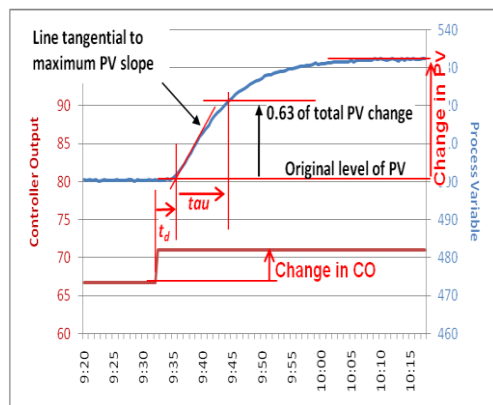
Tabel 1. Paramater PID *tuning Cohen-Coon*

	Kp	Ti	Td
P	$K_p = \frac{1.03}{gp}$ $\left(\frac{\tau}{td} + 0.34\right)$		
P I	$K_p = \frac{0.9}{gp}$ $\left(\frac{\tau}{td} + 0.092\right)$	$Ti = 3.33td$ $\frac{\tau + 0.092 td}{\tau + 2.22 td}$	
P D	$K_p = \frac{1.24}{gp}$ $\left(\frac{\tau}{td} + 0.129\right)$		$TD = 0.27td$ $\frac{\tau - 0.324td}{\tau + 0.129td}$
P I D	$K_p = \frac{1.35}{gp}$ $\left(\frac{\tau}{td} + 0.185\right)$	$Ti = 2.5td$ $\frac{\tau + 0.185 td}{\tau + 0.611 td}$	$TD = 0.37td$ $\frac{\tau}{\tau + 0.185td}$

(Sumber: Kumar, 2015)

Metode Tuning *Cohen - Coon*

Salah satu pengembangan dari tuning metode PID yang mampu memberikan respon waktu naik yang cepat sebagai pengontrol saat waktu mati yaitu tuning metode (Cc) *Cohen - Coon* dimana *self balancing Twincopter* atau *twinrotor* ini membutuhkan kestabilan tinggi saat salah satu motor menerima gangguan dibutuhkan respon naik yang cepat untuk menstabilkan dua motor *Twincopter*, maka digunakan suatu metode kontrol pid dengan tuning *Cohen - Coon* yang memiliki respons waktu naik yang cepat.



Gambar 5. Kurva Waktu Tunda Respon
(Sumber: Smuts, 2011)

Tabel 1 merupakan formula penerapan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi *Cohen - Coon* dimana *gp* dicari dengan rumus sebagai berikut:

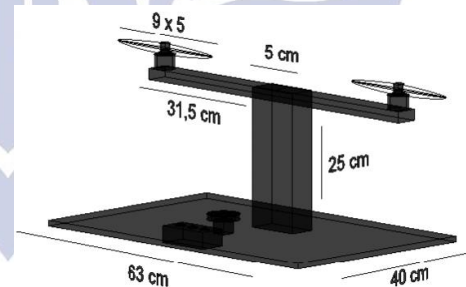
$$gp = \frac{\text{Change in PV}}{\text{Change in CO}} \quad (14)$$

Setelah parameter-parameter *gp*, τ , dan *td* didapatkan, maka nilai-nilai parameter *Kp*, *Ti*, dan *Td* bisa dihitung dengan rumus-rumus parameter PID untuk *Cohen - Coon* ditunjukkan pada Tabel 1.

PEMBAHASAN

Desain Plant

Pada perancangan ini desain *plant* yang digunakan untuk *self balancing twincopter* menggunakan ukuran dimensi dengan Panjang : 63 cm, Lebar : 40 cm dan Tinggi : 25 cm, desain ini juga memakai dimensi pada motor dc *Brushless* 930kv/15T dengan propeller 9 x 5 sebagai acuan parameter yang dibutuhkan dalam *plant* pada Gambar 6.

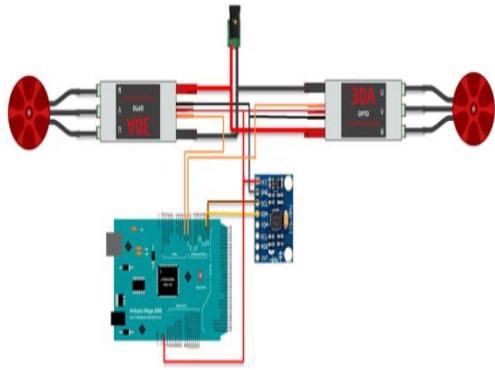


Gambar 6. Desain *Self Balancing Twincopter*

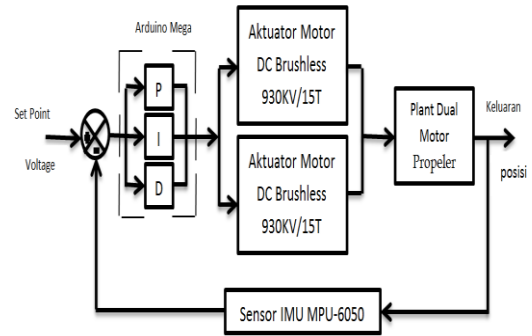
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Desain Hardware

Perancangan hardware berpusat di Arduino Mega. Motor DC Brushless mendapatkan daya dari ESC (*Electrical Speed Control*) dari daya eksternal *Power Supply* dan Pin dari ESC (*Electrical Speed Control*) akan masuk ke arduino Mega, lalu untuk pin sensor MPU 6050 akan masuk memperoleh daya dari arduino Mega, Hardware dari sistem *Self Balancing Twincopter* ditunjukkan pada Gambar 7.



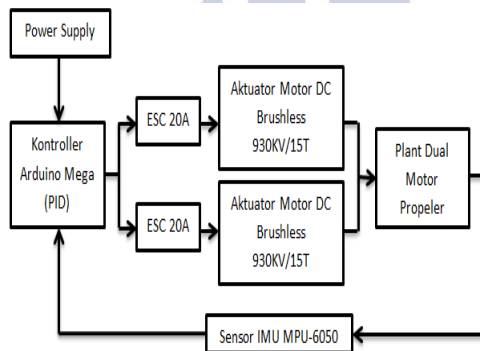
Gambar 7. Skema *Hardware Twincopter*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)



Gambar 9. Diagram Blok Sistem Pengendali *Hardware Self Balancing Twincopter*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Desain Sistem

Desain perancangan sistem *Self Balancing Twincopter* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain Sistem *Self Balancing Twincopter*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada Gambar 8 adalah desain sistem *Self Balancing* pada *Twincopter* terdiri dari Arduino Mega 2560 sebagai *microcontroller* perangkat pengolah data pengendali dengan tujuan membaca nilai masukan dan mengatur nilai keluaran pada sinyal PWM, dua buah ESC (*Electrical Speed Control*) sebagai alat konverter nilai dari PWM dan dua *Motor DC Brushless* yang dipasang *Proppeler* untuk mengubah sudut plant dengan gaya dorong dari baling-baling motor. Sensor IMU MPU 6050 digunakan sebagai pemberi data posisi sudut sistem yang harus dipertahankan.

Kemudian untuk desain diagram blok sistem pengendali dari *hardware Self Balancing Twincopter* ditunjukkan pada Gambar 9.

Input (*Setpoint*) sistem berupa posisi sudut kontroller PID dengan *tuning Cohen Coon* yang nantinya diproses Arduino sehingga dapat mengontrol *self balancing Twincopter*. Keluaran dari kontroler yang berupa tegangan input pada ESC akan mendapatkan nilai PWM ESC sebagai pengatur kecepatan dan arah putar motor *Brushless*. Untuk nilai dari derajat kemiringan, pembacaan dilakukan oleh sensor sensor *accelerometer* dan *gyroscope* sebagai nilai umpan balik.

Pemodelan Sistem

Pada desain plant yang sudah dibuat didapatkan parameter sebagai acuan, pemodelan sistem dapat dilakukan untuk mendesain pemodelan sistem dari persamaan *transfer function* 7 yaitu sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{L}{s^2 + \frac{Bs}{J}} \quad (15)$$

Setelah mendapatkan konstanta B, j, L kita akan memiliki:

$$L = 31,5 \text{ cm} = 3,15 \text{ m}$$

$$B = 1$$

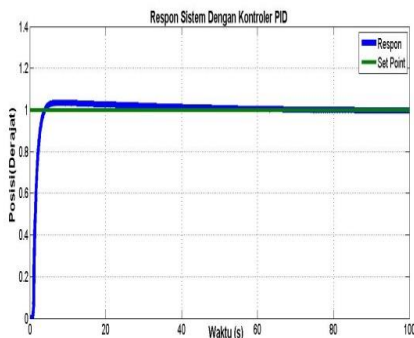
$$J = 0,33 \text{ Kg/m}^2$$

$$G(s) = \frac{L}{s^2 + \frac{Bs}{J}} = \frac{3.15}{s^2 + \frac{1}{0.33}s} = \frac{9.5}{s^2 + 3.0303s} \quad (16)$$

Dari persamaan *transfer function* yang telah didapatkan tersebut kemudian akan disimulasikan. Dari simulasi tersebut bisa diketahui respon sistem plant sebelum diberi kontroler dan setelah diberikan kontroler PID dengan *second method Cohen - Coon*.

Pengujian Respon Sistem

Pada pengujian respon penelitian sebelumnya dari sistem *Twincopter* dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kontrol PID (*proportional – integral Derivative*) menggunakan logika *Ziegler-Nichols* atau biasa disingkat ZN yang telah dirancang oleh peneliti sebelumnya hasil respon yang mampu menyeimbangkan sistem *self balancing* pada *dual motor propeller* sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Respon Sistem *Ziegler-Nichols* (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Dari grafik respon yang didapat oleh penelitian sebelumnya di dapatkan hasil respon sistem pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Respon *Ziegler-Nichols*

Parameter	Simulasi
M_p (simpangan maksimum)	1,033%
E_{ss} (error steady state)	1.23%
t_p (waktu simpangan maksimum)	1,436 s
t_s (waktu tunak) 5 %	1,73s
t_r (waktu naik)	2,7 s
t_d (waktu tunda)	1,73 s

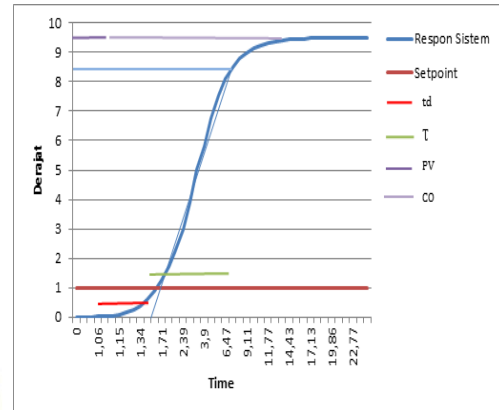
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Dari data Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai *Maximum peak* (M_p) adalah 1,033. (E_{ss}) *error steady state* yaitu 1.23% dengan waktu naik 2,7 s untuk mencapai set point.

Desain Software

Pada perancangan ini menggunakan software pada LabVIEW untuk mensimulasikan respon sistem dari *Twincopter* untuk mendapatkan nilai parameter PID.

Berikut adalah diagram dari respon sistem ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Respon Sistem tanpa Kontroler (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada Gambar 11 respon sistem tidak dapat mengikuti *setpoint* yang diinputkan, respon sistemnya melebihi set point, tidak bisa mempertahankan kondisi saat input derajat ditentukan maka diperlukan sebuah pengontrolan sistem sebagai upaya untuk mempertahankan posisi *self balancing* pada *twincopter*. dari respon sistem pada Gambar 11 didapatkan parameter sebagai masukan nilai PID sebagai berikut :

$$t_d = 1,34$$

$$\tau = 5,13$$

$$G_p = \frac{\text{Change in PV}}{\text{Change in CO}} = \frac{9,5}{5,41} = 1,75 \quad (17)$$

Setelah mendapatkan parameter tersebut maka dapat dihitung nilai kontroler PID dengan formula tuning *Cohen – Coon*, dengan perhitungan nilai parameter persamaan (9) maka didapatkan nilai K_p .

$$K_p = \frac{1,35}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0,185 \right)$$

$$= \frac{1,35}{1,75} \left(\frac{5,13}{1,34} + 0,185 \right)$$

$$= 0,77 (4,013)$$

$$= 3,09$$

Dan perhitungan persamaan (10) didapatkan hasil nilai T_i .

$$T_i = 2,5 t_d \frac{\tau + 0,185 t_d}{\tau + 0,611 t_d}$$

$$= 2,5 (1,34) \frac{5,13 + 0,185 (1,34)}{5,13 + 0,611 (1,34)}$$

$$= 3,35 \frac{5,37}{5,94}$$

$$= 3,028$$

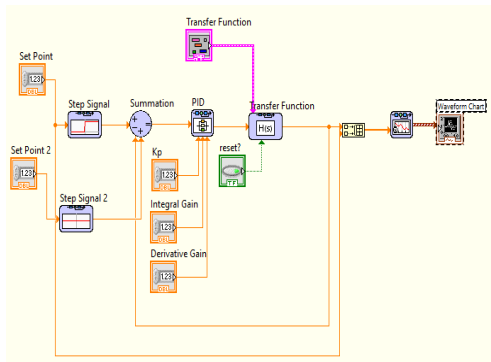
Dan perhitungan persamaan (11) didapatkan hasil nilai Td

$$T_d = 0.37 t_d \frac{\tau}{\tau + 0.185 t_d}$$

$$= 0.37(1,34) \frac{5,13}{5,13 + 0.185(1,34)}$$

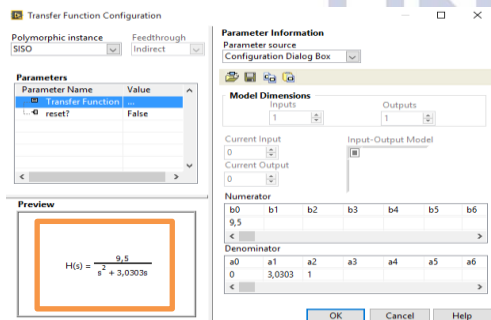
$$= 0,49 \frac{5,13}{5,37}$$

$$= 0,46$$



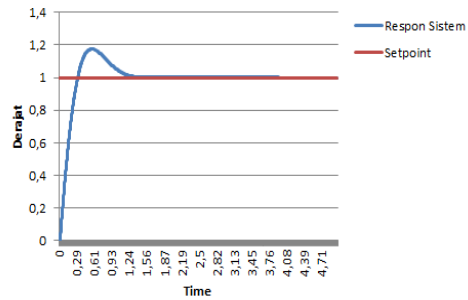
Gambar 12 Blok Diagram LabView Pengujian Respon Sistem (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada blok diagram Labview pada Gambar 12, *setpoint* menggunakan *step signal* sedangkan untuk tuning controller menggunakan blok PID dengan input nilai dari perhitungan formula *Cohen - Coon* dengan nilai $K_p = 3,09$, $K_i = 3,028$ dan $K_d = 0,46$. Sedangkan hasil *transfer function* yang didapat dari persamaan 7, $\frac{9,5}{s^2 + 3.0303s}$ akan di inputkan dalam blok *Control and Simulation Loop* yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Control and Simulation Loop (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Kemudian dari *output* respon sistem ditampilkan menggunakan waveform chart dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Respon Sistem dengan Kontroler PID *Tuning Cohen - Coon* (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

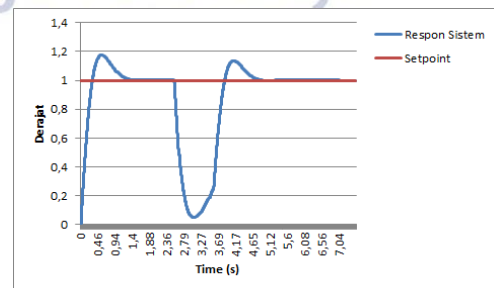
Diketahui bahwa hasil respon simulasi dengan mengimplementasikan pengendali logika *Cohen - Coon* dapat mengikuti nilai masukan yang diinginkan, meskipun masih terdapat osilasi, sehingga didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Respon Sitem *Cohen - Coon*

Parameter	Simulasi
M_p (simpangan maksimum)	0,17 %
E_{ss} (error steady state)	0,038 %
t_p (waktu simpangan maksimum)	0,038 %
t_s (waktu tunak) 5 %	1,2 s
t_r (waktu naik)	0,47 s
t_d (waktu tunda)	0,21 s

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pengujian simulasi dilakukan dengan pemberian gangguan pada sistem yang ada, dengan penginputan sinyal step yang akan mempengaruhi kestabilan respon yang didapat, sehingga terjadi osilasi kemudian secara otomatis dapat menjadikan nilai koreksi dan akan menyetabilkan respon sistem.



Gambar 15. Gangguan pada Respon Sistem dengan Kontroler PID *Cohen - Coon* (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada Gambar 15 didapatkan hasil respon sistem pemberian gangguan, dapat dilihat bahwa respon sistem dapat menuju nilai input setpoint dengan cepat pada saat respon sistem diberi gangguan meskipun masih terdapat osilasi saat sistem mencapai *steady state*.

Tabel 4. Hasil perbandingan respon metode tuning *Cohen - Coon* dengan *Ziegler-Nichols*

Output	Metode Tuning	
	<i>Cohen - Coon</i>	Ziegler - Nichols
M_p	0,17 %	1,033 %
E_{ss} (error steady state)	0,038 %	1,23 %
t_p	0,54 s	1,436 s
t_s (waktu tunak) 5 %	1,2 s	1,73 s
Output	Metode Tuning	
	<i>Cohen - Coon</i>	Ziegler - Nichols
t_d (waktu tunda)	0,21 s	1,73 s

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Dari Tabel 4 data hasil perbandingan percobaan metode tuning PID untuk mendapatkan hasil respon *Twincopter* dengan nilai E_{ss} (error steady state) = 0,038 % paling kecil menggunakan metode *Cohen Coon* dengan nilai M_p (simpangan maksimum) = 0,17 %, t_p 0,54s dan (waktu simpangan maksimum) = 0,54 s, t_s (waktu tunak) 5 % = 1,26 s, t_r (waktu naik) = 0,47 s, t_d (waktu tunda) = 0,21 s.

SIMPULAN

Simulasi yang dilakukan dapat kita simpulkan jika respon sistem saat kondisi sistem tanpa pengontrolan tuning PID, respon sistem menunjukkan respon yang tidak dapat mengikuti *setpoint* yang diinputkan, respon sistemnya melebihi set point, saat dilakukan pengontrolan sistem sebagai upaya untuk mempertahankan posisi tersebut menggunakan kontrol tuning PID *cohen coon* didapatkan nilai $K_p = 3,09$, $K_i = 3,028$ dan $K_d = 0,46$. dapat memperbaiki hasil respon sistem E_{ss} (error steady state) = 0,038 % , M_p (simpangan maksimum) = 0,17 % , t_p dan (waktu simpangan maksimum) = 0,54 s , t_s (waktu

tunak) 5 % = 1,26 s , t_r (waktu naik) = 0,47 s , t_d (waktu tunda) = 0,21s hasil ini menunjukkan bahwa tuning *Cohen - Coon* memberikan respon waktu naik yang lebih cepat dari metode *Ziegler-Nichols*, sebagai upaya menstabilkan *Self Balancing Twincopter*.

SARAN

Pada simulasi sistem *Self Balancing Twincopter* dilakukan dengan metode tuning *Cohen - Coon* untuk selanjutnya bisa menggunakan metode tuning yang lain seperti *Tyruis-Luyben* untuk mengurangi kesalahan error yang lebih rendah sehingga respon sistem mendapatkan kondisi dengan kestabilan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, Shlok, Apoorva Mohan dan Kamlesh Kumar. 2013. "Design And Fabrication Of Twinrotor UAV". India. Department of Mechatronics, Manipal University.
- Alvarado, Martínez. 2014. "Performance Evaluation Of Propeller-Engine Systems For Unmanned Aerial Vehicles In Hovering Mode". *Instituto Politécnico Nacional Grupode Robótica y Manufactura Avanzada*.
- Gemilang, Yusuf Rahmat, Bambang Suprianto, 2016. "Kendali Jarak Jauh UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) Tipe Quadcopter Menggunakan *Transceiver* Nrf 24101 + Beserta Job Sheet Uji Coba". Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya.
- Gmili, El Nada, Mostafa Mjehed, Abdeljalil El Kari, Hassan Ayad. 2018. "Platform design and Experimental Regulation of Twinrotor UAV". Morocco. Department of Applied Physics, Cadi Ayyad University Marrakech.
- Hosseializade, T, S.M.J. Hosseini, H. Khaloozadeh. 2016. "Design and Implementation Classical, State Feedback and Fuzzy Controllers on Twin Rotor System". Iran. Department of Control Engineering.

- Hari, Armanda. 2019. "Rancang Bangun sistem pengendalian self balancing pada dual motor propeller berbasis fuzzy logic controller". Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya.
- Immaneni, Hemchand. 2013. "Mathematical Modelling And Position Control Of Brushless Dc (Blde) Motor". India. Gitam University.
- Kumar, Amit, K.K Garg. 2015. Comparison of Ziegler Nichols, Cohen-Coon and Fuzzy Logic Controllers for Heat Exchanger Model. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Volume 4, Issue 6, ISSN: 2278 – 7798.
- Mizui, Masahiko, Ikuo Yamamoto, dan Ryouga Ohsawa. 2012. "Resonance Analysis of the UAV Rotor-arm part". IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Kyushu Kyouritu University.
- M, Nataraj, Madhukumar K, Karthik M. 2017. "Design and Fabrication of Two Rotors Bicopter". Department of Mechanical Engineering, Sir M.VIT.
- Ogata, Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik jilid 1*. Terjemahan Edi Laksono. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko, Edi Leksono. 1995. "Teknik Kontrol Automatik Jilid 1". Bandung: Erlangga.
- Patel, Vinod KR Singh, A.K.Pandey. 2013. "Modeling and Performance Analysis of PID Controlled BLDC Motor and Different Schemes of PWM Controlled BLDC Motor". Department Of Electrical Engineering, M.M.M. Engineering College, Gorakhpur (U.P.).
- Smuts, Jacques F. 2011. Theoretical Consideration of Retarded Control, Trans. ASME, 75, pp. 827-834, 1953: Cohen-Coon Tuning Rules. (Online), (<https://blog.opticontrols.com/archives/383>, diakses 7 Januari 2020).
- Suroso, Indreswari. 2016. "Peran Drone atau Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Buatan STTKD Dalam Dunia Penerbangan". Jurnal Teknik Aeronautika Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan.
- Samsul, Hudha. 2019. "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Self Balancing pada Dual Motor Menggunakan Kontroler PID". Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya.
- Th F-M. Yu, H-Y. Chung and C-N. Huang .2005. "robust stability of seesaw system with fuzzy logic control". Department of Electrical Engineering, National Central University, Chungli, Taiwan 320, RO.
- Wicaksono, Hendi. 2013. "Self Stabilizing 1 Axis Quad Copter Using T2-Fuzzy Controller" Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya.