

# *Sistem Kendali Sikap Quadcopter dengan Tracking Gerakan Tangan*

23219305 - Satrya Budi Pratama<sup>a</sup>

<sup>a</sup>zeroonetm@students.itb.ac.id

**Abstract:** *Quadcopter* adalah salah satu jenis UAV yang memiliki 4 motor dan dikendalikan oleh *remote control* / *transmitter*. Menerbangkan *quadcopter* membutuhkan latihan berulang-ulang untuk berhasil mengendalikannya dengan baik. Pengamatan dilakukan oleh sebuah perusahaan yaitu Design Interactive pada pelatihan militer *drone* di Amerika Serikat yang dilakukan oleh InstantEye. Ternyata salah satu kendala terbesar pada peltihan tersebut yaitu kebanyakan pilot salah menekan tombol *controller* sehingga mengakibatkan *drone* hilang atau rusak. Alternatif solusi yang ditawarkan adalah bagaimana pilot dapat mengoperasikan *controller* sambil mempertahankan visualisasi serta memproses informasi drone secara *multitasking*. Mengendalikan sikap *quadcopter* dengan pendekatan *Natural User Interface* (NUI) membantu pilot untuk menerbangkan sebuah *drone*. Menggunakan Leap Motion dan sensor flex terintegrasi WeMos D1 ESP-12E pada sisi ground control dan Holybro PIX32 PX4 Autopilot sebagai *flight controller* pada *quadcopter*, *quadcopter* berhasil dikendalikan oleh gerakan tangan yang diproses oleh sebuah *server* dan mengirim hasil berupa perintah dalam bentuk protokol MAVLink ke *quadcopter* sehingga *quadcopter* dapat melakukan gerakan *pitch*, *roll*, *yaw*, *take off* dan *landing*. Pilot juga didukung dengan aplikasi *monitoring* dan *controlling* untuk memudahkan dalam menerbangkan *quadcopter*.

## 1. Pemodelan pada Tugas Akhir

Pemodelan pada tugas akhir ini terdiri dari dua pemodelan yaitu :

### 1.1. Pemodelan Quadcopter

*Quadcopter* dapat dimodelkan secara matematis dengan *state representation* sebagai berikut :

$$\dot{x}_1 = \dot{\phi} = x_2 \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{\phi}'' = x_4 x_6 \alpha_1 - x_4 \Omega_r \alpha_2 + b_1 U_2 \quad (2)$$

$$\dot{x}_3 = \dot{\theta} = x_4 \quad (3)$$

$$\dot{x}_4 = \dot{\theta}'' = x_2 x_6 \alpha_3 + x_2 \Omega_r \alpha_4 + b_2 U_3 \quad (4)$$

$$\dot{x}_5 = \dot{\psi} = x_6 \quad (5)$$

$$\dot{x}_6 = \dot{\psi}'' = x_2 x_4 \alpha_5 + b_3 U_4 \quad (6)$$

$$\dot{x}_7 = \dot{z} = x_8 \quad (7)$$

$$\dot{x}_8 = \dot{z}'' = g - \frac{U_1}{m} (\cos x_1 \cos x_3) \quad (8)$$

$$\dot{x}_9 = \dot{x}' = x_{10} \quad (9)$$

$$\dot{x}_{10} = \dot{x}'' = \frac{-U_1}{m} (\sin x_1 \sin x_5 + \cos x_1 \sin x_3 \cos x_5) \quad (10)$$

$$\dot{x}_{11} = \dot{y}' = x_{12} \quad (11)$$

$$x'_{12} = y'' = \frac{U_1}{m}(\sin x_1 \cos x_5 - \cos x_1 \sin x_3 \sin x_5) \quad (12)$$

$$F(X, U) = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_4 x_6 \alpha_1 - x_4 \Omega_r \alpha_2 + b_1 U_2 \\ x_4 \\ x_2 x_6 \alpha_3 + x_2 \Omega_r \alpha_4 + b_2 U_3 \\ x_6 \\ x_2 x_4 \alpha_5 + b_3 U_4 \\ x_8 \\ g - \frac{U_1}{m}(\cos x_1 \cos x_3) \\ x_{10} \\ -\frac{U_1}{m}(\sin x_1 \sin x_5 + \cos x_1 \sin x_3 \cos x_5) \\ x_{12} \\ \frac{U_1}{m}(\sin x_1 \cos x_5 - \cos x_1 \sin x_3 \sin x_5) \end{bmatrix} \quad (13)$$

Dimana  $\mathbf{X}$  adalah 12 state vector yang terdiri dari

$$X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10} \ x_{11} \ x_{12}]^T \quad (14)$$

Yang dipetakan dengan DOF (*Degree of Freedom*) *quadcopter*

$$X = [\phi \ \phi' \ \theta \ \theta' \ \psi \ \psi' \ z \ z' \ x \ x' \ y \ y']^T \quad (15)$$

Secara berurut 6 DOF memiliki element yaitu sudut *roll*, *roll rate*, sudut *pitch*, *pitch rate*, sudut *yaw*, *yaw rate*, posisi terhadap sumbu  $z$ , kecepatan terhadap sumbu  $z$ , posisi terhadap sumbu  $x$ , kecepatan terhadap sumbu  $x$ , posisi terhadap sumbu  $y$ , dan kecepatan terhadap sumbu  $y$ .

Dimana  $U$  adalah vector terdiri dari 4 masukan  $U_1$  sampai  $U_4$  yang terdiri dari :

1.  $U_1$  adalah total gaya angkat pada sumbu  $z$ .
2.  $U_2$  adalah perbandingan *roll* torsi pada sumbu  $y$ .
3.  $U_3$  adalah perbandingan *pitch* torsi pada sumbu  $x$ .
4.  $U_4$  adalah perbandingan *yaw* torsi pada sumbu  $z$ .

## 1.2. Pemodelan Kendali Kecepatan

Pada alat kendali kecepatan quadcopter, sebuah model didapatkan dari data eksperimen. Berdasarkan

Table 1: Tabel Pengamatan pada Alat Kendali Kecepatan  
width=1

Sudut Flex ( )	Analog ( 0-1023 )	Tegangan ( V )	Hambatan ( $\Omega$ )	Konversi Sudut ( )	Konversi Kecepatan ( m/s )	Kecepatan <i>Quadcopter</i> ( m/s )
0	602	2.93	25525.75	0.0	0.00	0.01
10	548	2.33	31637.11	9.0	0.50	1.09
20	489	2.38	40172.48	20.0	1.11	1.05
30	435	2.12	49337.92	33.0	1.83	1.89
40	396	1.88	59984.50	45.0	2.50	2.52
50	366	1.78	67220.84	56.0	3.11	3.57
60	339	1.61	76650.00	67.0	3.72	3.36
70	322	1.56	80185.94	75.0	4.17	4.36
80	302	1.47	87140.74	86.0	4.78	4.81
90	295	1.44	90074.59	90.0	5.00	5.44

data dari tabel 1, dapat diperoleh sebuah model linear dan nilai error atau nilai offset pada alat. Model linier dibangun dengan mengacu pada parameter sudut flex dan parameter konversi kecepatan. Sudut flex sebagai variabel bebas dan konversi kecepatan adalah variabel terikat. Perhitungan model linear 2 variabel menggunakan formula sebagai berikut :

$$y_i = \beta x_i + \alpha, \quad (16)$$

Dimana:

$y_i$  adalah hasil nilai prediksi pada baris ke-i.  $i = 1.. n$ .  $n$  adalah jumlah data  
 $x_i$  adalah nilai input variable bebas pada baris ke-i  
 $\beta$  adalah koefisien regresi yang didapat dengan formula (17)  
 $\alpha$  adalah nilai konstanta intercept yang didapat dengan formula (18)

$$\beta = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad (17)$$

Dimana:

$\beta$  adalah koefisien regresi  
 $x_i$  adalah nilai input variable bebas ke i  
 $\bar{x}$  adalah nilai rata-rata pada variabel bebas keseluruhan  
 $y_i$  adalah nilai input variable terikat ke i  
 $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata pada variabel terikat keseluruhan

$$\alpha = \bar{y} - \beta \bar{x}, \quad (18)$$

Dimana:

$\alpha$  adalah nilai konstanta intercept  
 $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata pada variabel terikat keseluruhan  
 $\beta$  adalah koefisien regresi yang didapat dengan formula (17)  
 $\bar{x}$  adalah nilai rata-rata pada variabel bebas keseluruhan

Hasil dari model regresi linear adalah

$$y = 0.0585x + 0.0391$$

. Dimana  $\beta = 0.0585$  dan  $\alpha = 0.0391$ . Dalam visualisasi, nilai  $\beta$  menyatakan slope atau kemiringan garis regresi dan  $\alpha$  menyatakan titik potong garis regresi pada sumbu-y. Dibawah ini adalah grafik yang menunjukkan model linear regresi tersebut.

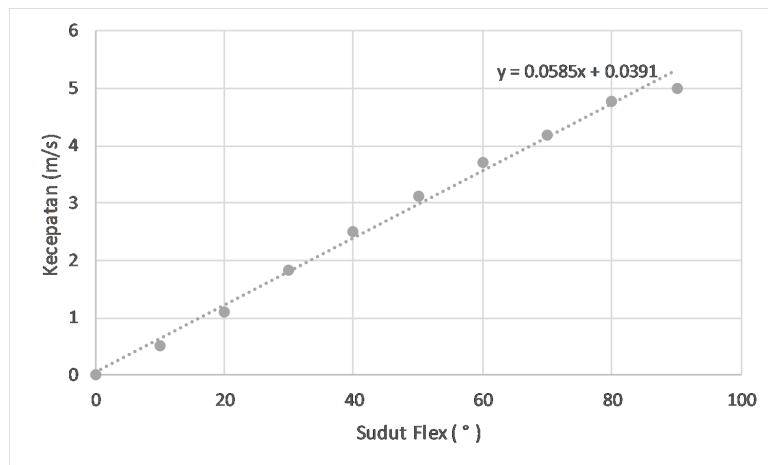


Figure 1: Grafik Model Regresi Linier

Untuk melihat performa dari model regresi yang dibangun menggunakan perhitungan Root Mean Square Error (RMSE) dengan formula sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{predict} - y_{original})^2}, \quad (19)$$

Dimana:

RMSE	adalah hasil perhitungan error
n	adalah jumlah data
$y_{i,predict}$	adalah hasil model regresi pada i
	dengan inputan $x_i$ adalah nilai sudut flex pada baris ke-i
$y_{i,original}$	adalah nilai konversi kecepatan pada baris ke-i

Hasil dari RMSE yang diperoleh adalah 0.436. Semakin kecil nilai error semakin baik model regresi dan sebaliknya.

Perhitungan error juga dapat dilakukan dengan parameter sejenis. Selain memakai model regresi, dengan parameter nilai sudut flex dan konversi sudut dapat dihitung RMSE dengan  $y_{predict}$  adalah konversi sudut dan  $y_{original}$  adalah sudut flex. RMSE yang didapat adalah 4.254.

Parameter sejenis lainnya yaitu, konversi kecepatan dan kecepatan wahana. RMSE pada kedua parameter ini adalah 0.305.

Ini menunjukkan bawah sudut flex dan konversi sudut tidak berbeda jauh nilai konversinya. Dan untuk konversi kecepatan dengan kecepatan wahana juga tidak berbeda jauh nilai kecepatannya. Sehingga alat ini dapat dijadikan untuk mengendalikan kecepatan wahana.