



PERANCANGAN KONTROLER MPC UNTUK TRAJECTORY TRACKING PADA GERAK CRUISE QUADCOPTER

Astrid Rachma Pratiwi

2212 100 103

Dosen Pembimbing
Ir. Rusdhianto Effendie A.K., M. T.
Eka Iskandar, ST., MT.



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



Outline

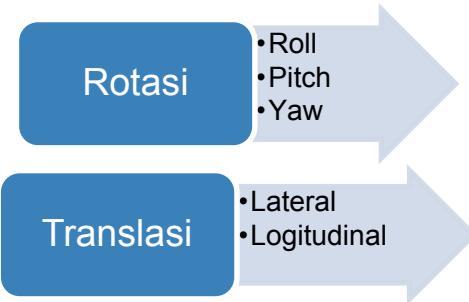


1

Pendahuluan



Latar Belakang





Permasalahan

Saat melakukan tracking, Quadcopter memiliki karakteristik yang tidak stabil terhadap perubahan parameter plant



Saat Quadcopter melakukan tracking
Sudut quadcopter berubah pula



Tujuan

Merancang Kontroler MPC untuk mempertahankan performansi respon plant terhadap perubahan parameter plant saat trajectory tracking gerak cruise.



Batasan Masalah

- ◊ Quadcopter yang digunakan adalah quadcopter AJ 204 yang berada di LAB AJ 204 Jurusan Teknik Elektro ITS
- ◊ Pengendalian gerak rotasi menggunakan Kontroler PID
- ◊ Pengendalian gerak translasi menggunakan kontroler MPC

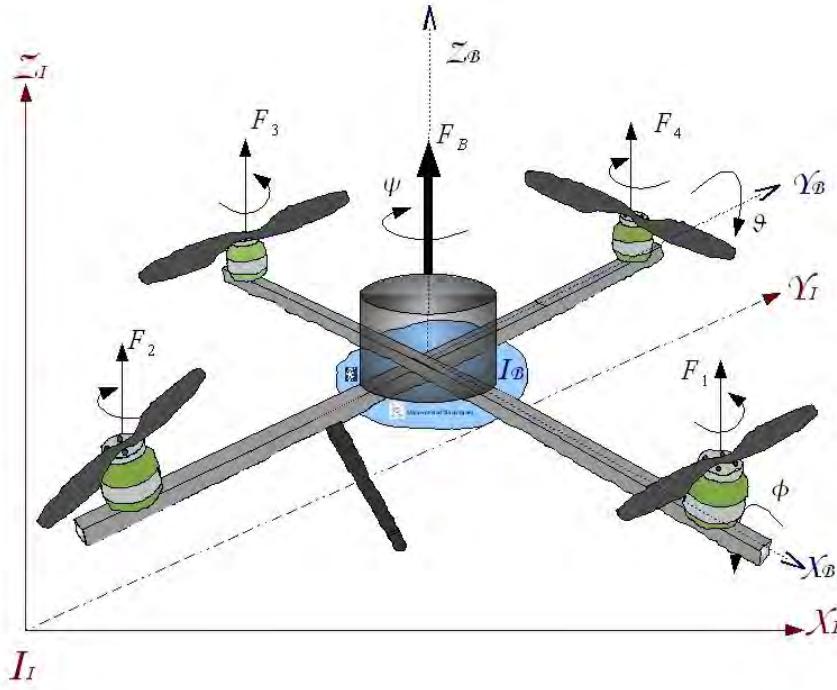
2

Perancangan Sistem





Quadcopter





Model Matematika

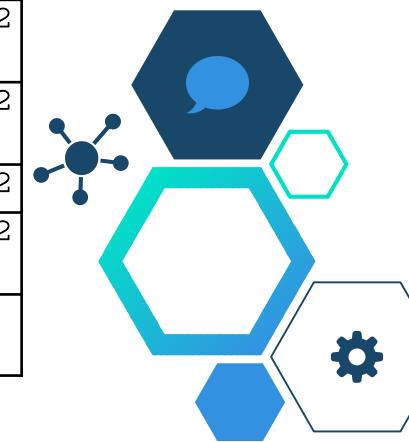
$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{X} = \frac{U_1}{m} (\cos \Psi \sin \theta \cos \phi + \sin \Psi \sin \phi) \\ \ddot{Y} = \frac{U_1}{m} (\sin \Psi \sin \theta \cos \phi - \cos \Psi \sin \phi) \\ \ddot{Z} = -g + \frac{U_1}{m} (\cos \theta \cos \phi) \\ \dot{p} = \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} qr - \frac{I_{TP}}{I_{xx}} q\Omega + \frac{U_2}{I_{xx}} \\ \dot{q} = \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} pr + \frac{I_{TP}}{I_{yy}} q\Omega + \frac{U_3}{I_{yy}} \\ \dot{r} = \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} pq + \frac{U_4}{I_{zz}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} U_1 = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ U_2 = bl(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ U_3 = bl(-\Omega_1^2 + \Omega_3^2) \\ U_4 = d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ \Omega = -\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4 \end{array} \right.$$





Parameter quadcopter

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1,	Massa quadcopter	1.26	Kg
2.	Jari-jari quadcopter	0,206	Meter
3.	Momen inersia sumbu X	$1,68 \times 10^{-3}$	Kg.m ²
4.	Momen inersia sumbu Y	$1,68 \times 10^{-3}$	Kg.m ²
5.	Momen inersia sumbu Z	$1,25 \times 10^{-3}$	Kg.m ²
6.	Konstanta drag	$4,19 \times 10^{-5}$	Nm.sec ²
7.	Konstanta Thrust	$1,68918 \times 10^{-6}$	N.sec ²
8.	Gaya Grafitasi	9.8	m/sec ²





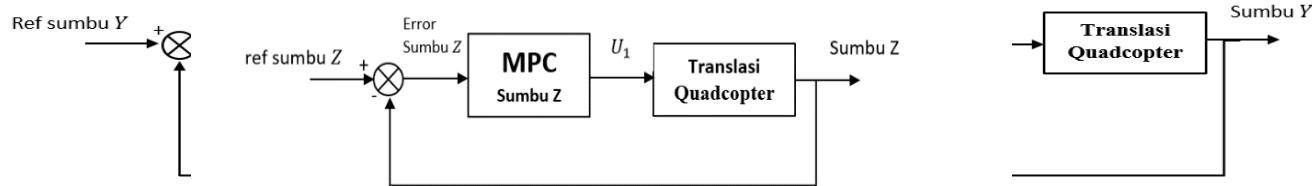
Model Matematika hasil Identifikasi

$$\begin{cases} \ddot{X} = \frac{U_1}{1.26} (\cos\psi \sin\theta \cos\phi + \sin\psi \sin\phi) \\ \ddot{Y} = \frac{U_1}{1.26} (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi) \\ \ddot{Z} = -9.81 + (\cos\theta \cos\phi) \frac{U_1}{1.26} \\ \dot{p} = -0.5495qr - 0.00017q\Omega + 0.2052U_2 \\ \dot{q} = 0.1675pr - 0.0094p\Omega + 2.955U_3 \\ \dot{r} = -2.0257pq + 0.0954U_4 \end{cases}$$





Diagram Blok Perancangan Sistem



Diasumsikan sudut Yaw bernilai mendekati 0
Persamaan Gerak Translasi

sumbu X

$$\ddot{X} = (\sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{1.26}$$

sumbu Y

$$\ddot{Y} = (-\sin \phi) \frac{U_1}{1.26}$$





Modifikasi Persaman Linier

Gerak Translasi

Modifikasi persamaan linier sumbu Z

$$\ddot{Z} = U_z$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Z} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ \dot{Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U_z$$

Diskritisasi Sumbu Z dengan menggunakan metode forward euler

$$\begin{bmatrix} Z(k+1) \\ V_z(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z(k) \\ V_z(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta T \end{bmatrix} U_z(k)$$

Modifikasi persamaan linier sumbu X

$$\ddot{X} = U_x$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U_x$$

Diskritisasi Sumbu X dengan menggunakan metode forward euler

$$\begin{bmatrix} X(k+1) \\ V_x(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(k) \\ V_x(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta T \end{bmatrix} U_x(k)$$

Modifikasi persamaan linier sumbu Y

$$\ddot{Y} = U_y$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \ddot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U_y$$

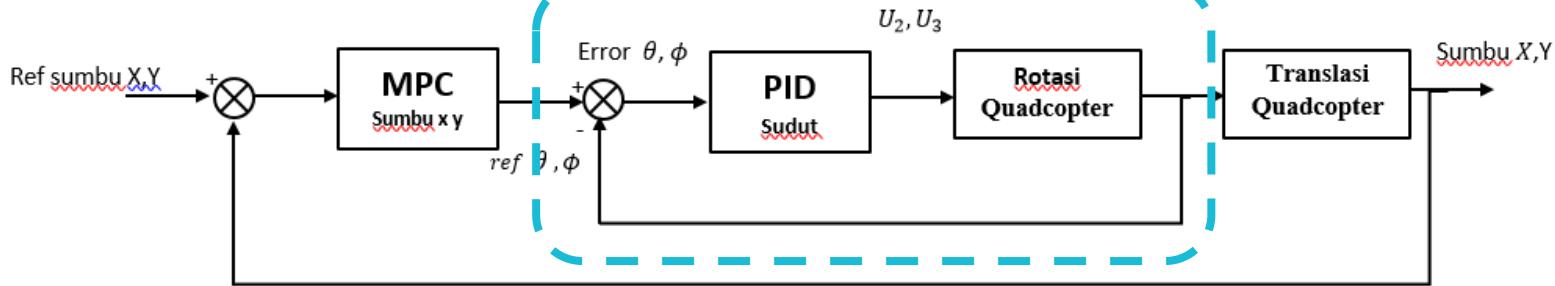
Diskritisasi Sumbu Y dengan menggunakan metode forward euler

$$\begin{bmatrix} X(k+1) \\ V_y(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(k) \\ V_y(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta T \end{bmatrix} U_y(k)$$

*Sampling interval (ΔT) yang dipilih nilai ΔT sebesar 0.1s
Output matriks C = [1 0]*

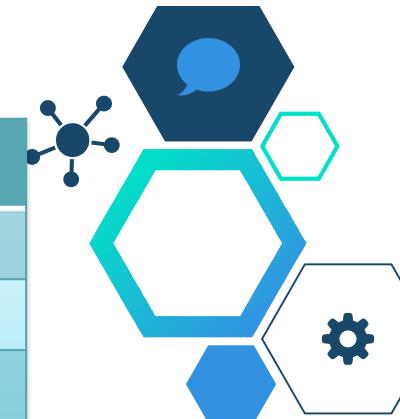


Kontroler PID



Karakteristik Parameter PID untuk Tuning dengan Prosedural Method

Respon Closed Loop	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady State	
		K _P	K _I	K _D	
Proportional	Menurut Pitch	400	0,01	2250	Lebih banyak
		800	0,01	2800	Eleminasi
	Perubahan Yaw	300	0,001	1400	Minimal kecil





Model Predictive Control

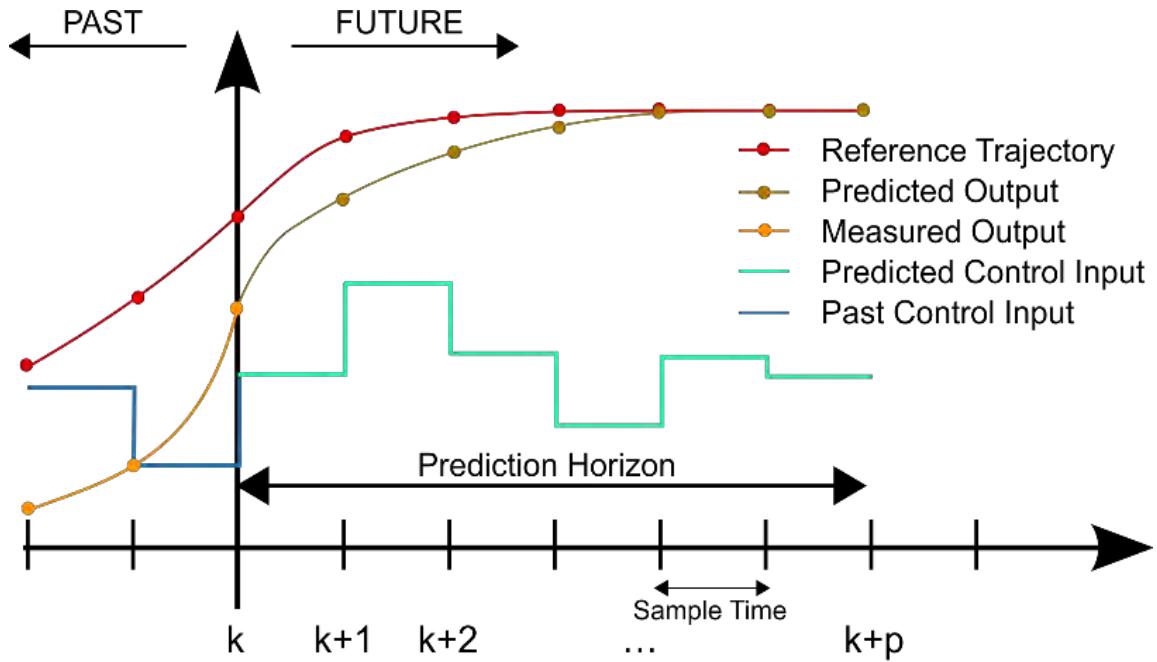
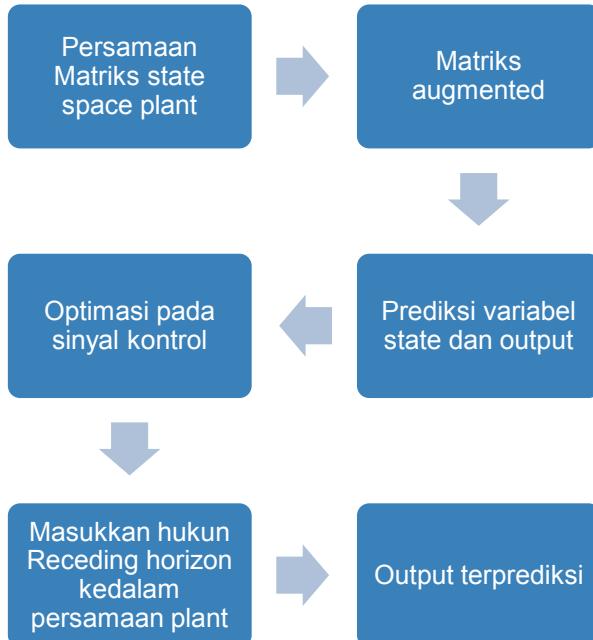




Diagram alur MPC



Indeks p **prinsip Receding Horizon** berikut: $x_m(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$. Nilai output terprediksi $r(k_i)$ dan sinyal kontrol yang akan datang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan $R_s = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T r(k_i) = R_s r(k_i)$.

Mengimplementasikan sample pertama atau sequence pertama dari sinyal kontrol dan dimana mengabaikan urutan selanjutnya.

dimana $J_{k+1} = (R_s - Fx(k_i))^T (R_s - Fx(k_i)) - 2\Delta U^T \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) \Delta U + \Delta U^T \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) \Delta U$

Ketika periode sampling selanjutnya datang, nilai pengukuran yang paling baru diambil dari state vector $(k_i + \Delta t)$ untuk perhitungan sinyal kontrol yang baru.

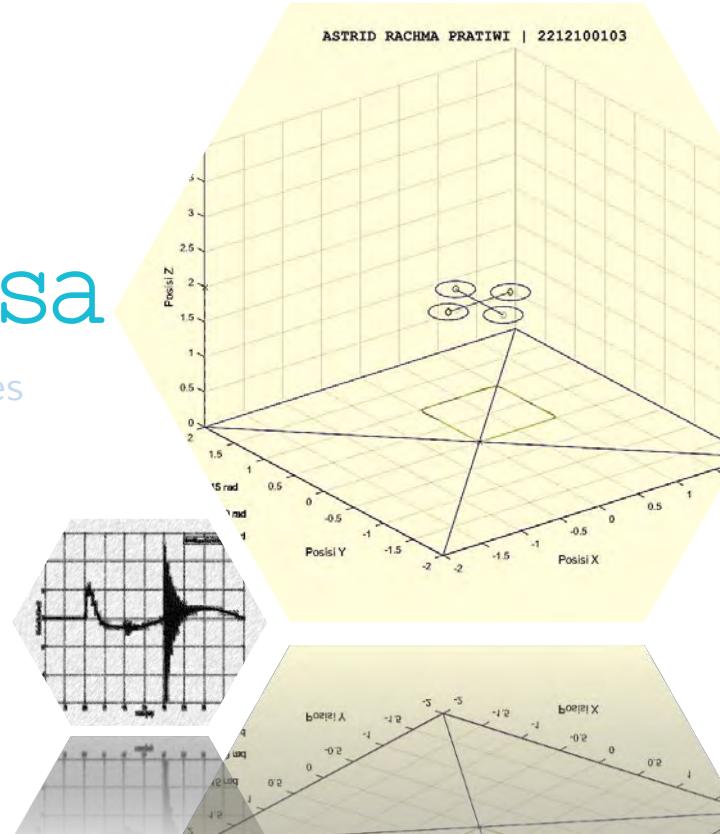
$$\begin{aligned} & J_{k+1} = (R_s - Fx(k_i))^T (R_s - Fx(k_i)) - 2\Delta U^T \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) \Delta U + \Delta U^T \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) \Delta U \\ & \quad \text{dimana } \Delta x_m(k_i, k_f) = \Delta u(k_i, k_f) \dots \Delta u(k_i, k_f) \\ & \quad \text{Ketika periode sampling selanjutnya datang, nilai pengukuran yang paling baru diambil dari state vector } (k_i + \Delta t) \end{aligned}$$

A decorative border of hexagonal icons surrounds the central content. The icons include: a lightbulb in a cyan hexagon at the top left; a blue hexagon above it; a dark blue hexagon containing a thumbs-up icon; a dark blue hexagon containing a molecular or network structure; a cyan hexagon containing a smartphone icon; a dark blue hexagon containing a magnifying glass icon; a dark blue hexagon containing a gear icon; and a cyan hexagon containing a speech bubble icon at the bottom left.

3

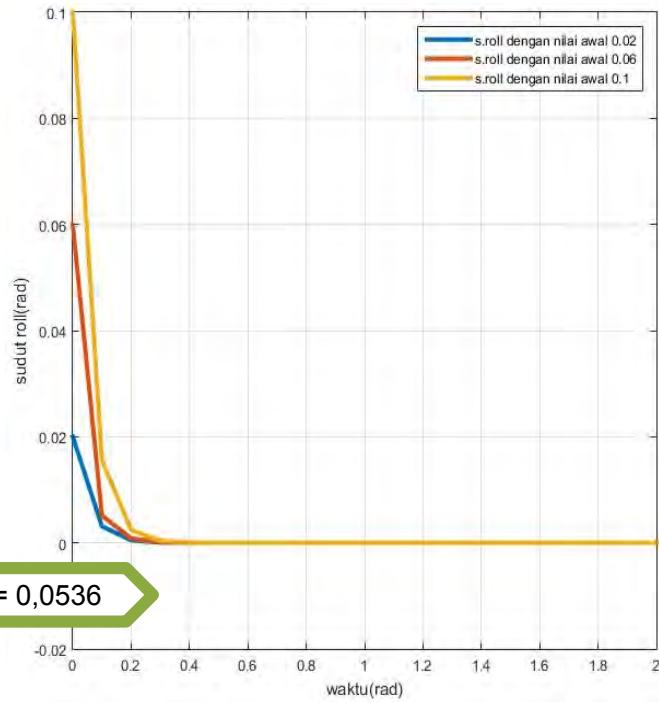
Hasil & Analisa

Let's start with the first set of slides

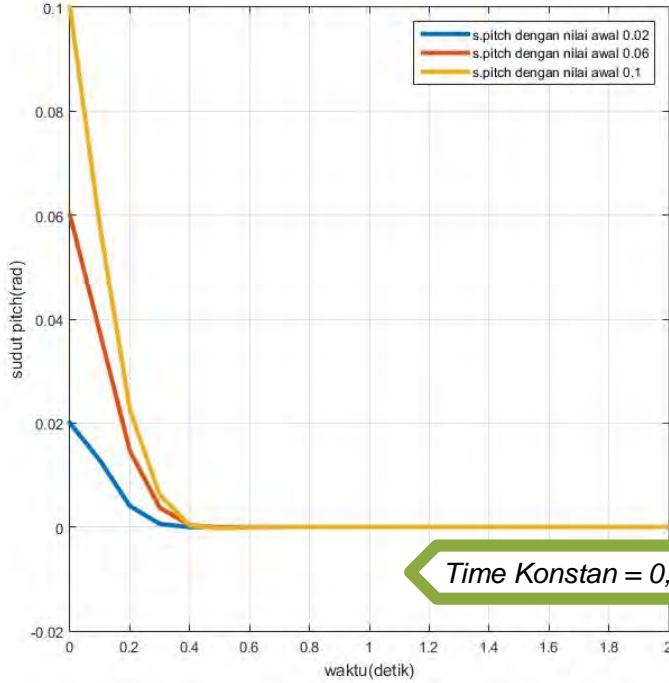




Respon Kestabilan Sudut



Time Konstan = 0,0536



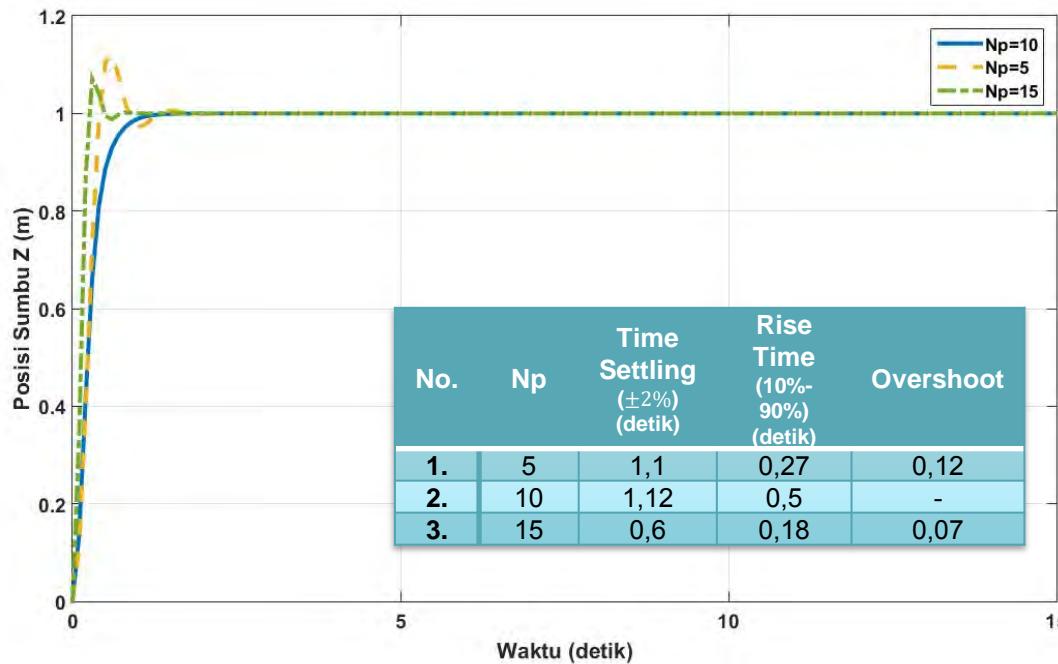
Time Konstan = 0,0613





Respon Sumbu Z

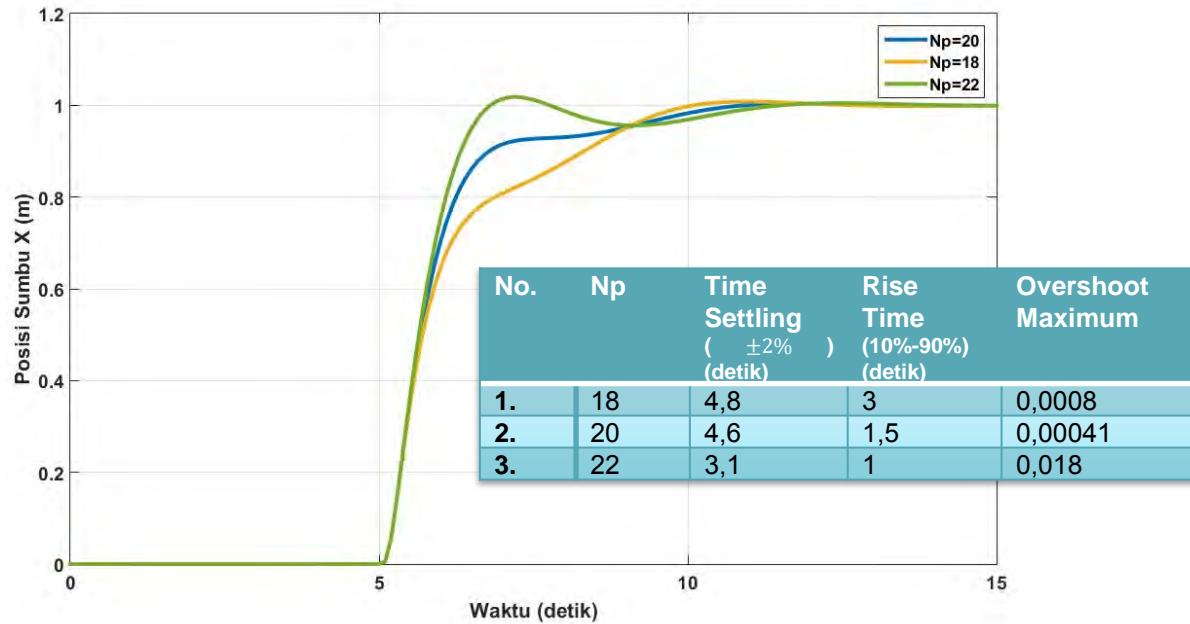
Terhadap variasi nilai Np





Respon Sumbu X

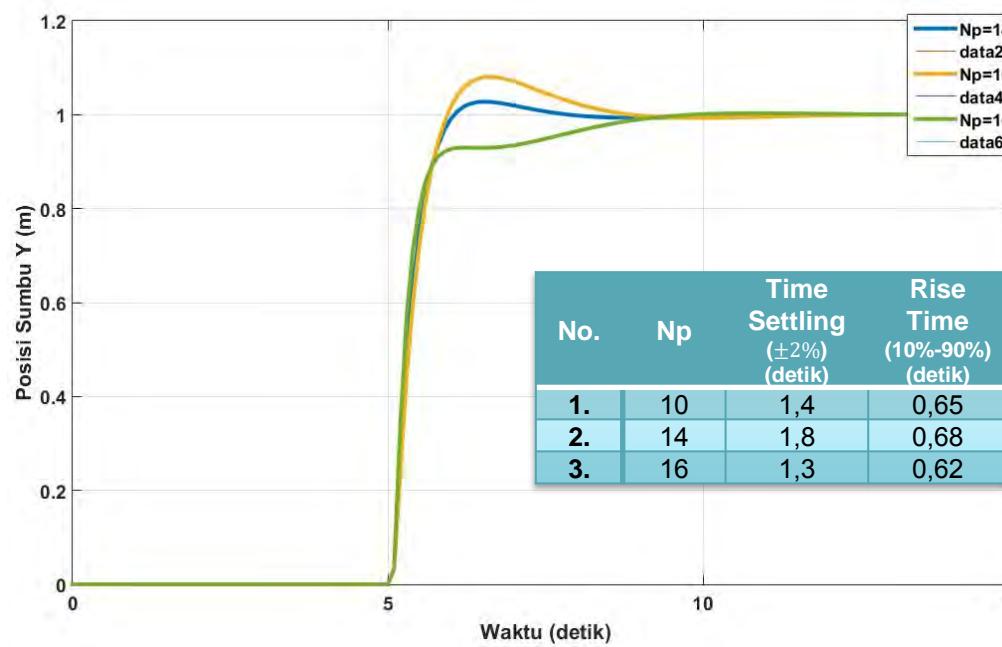
Terhadap variasi nilai Np





Respon Sumbu Y

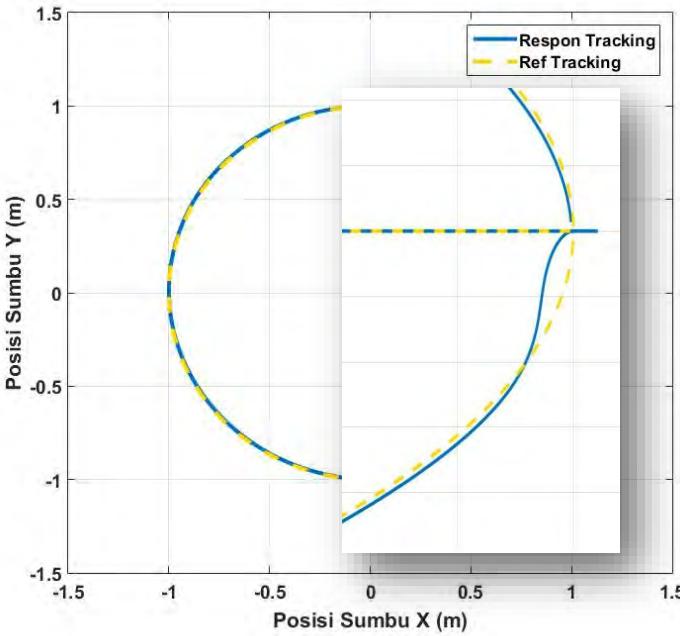
Terhadap variasi nilai Np





Respon Quadcopter

Trajectory Tracking Lingkaran



Jari-jari = 1 m

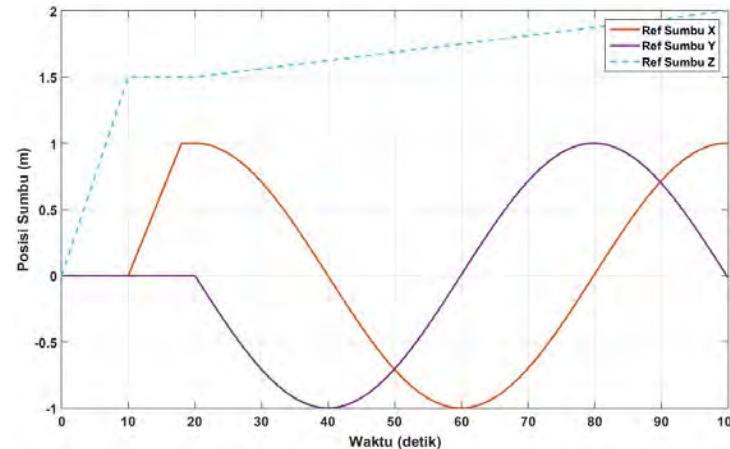
Kecepatan sudut = 0,1 rad

Waktu simulasi = 100 detik

RMS X = 3,3 %

RMS Y = 2,3 %

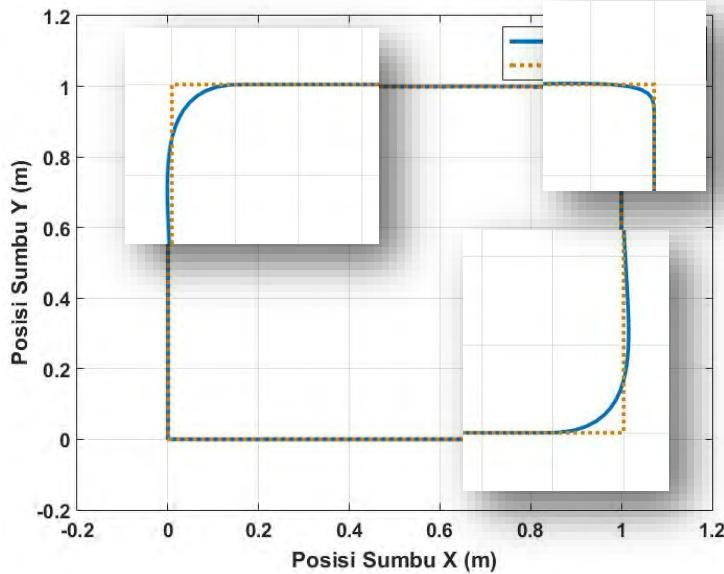
RMS Z = 1,5 %





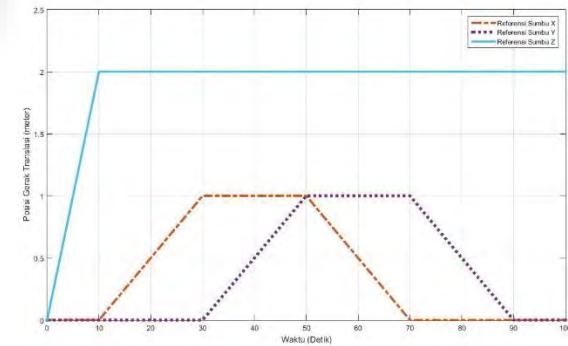
Respon Quadcopter

Trajectory Tracking Segiempat



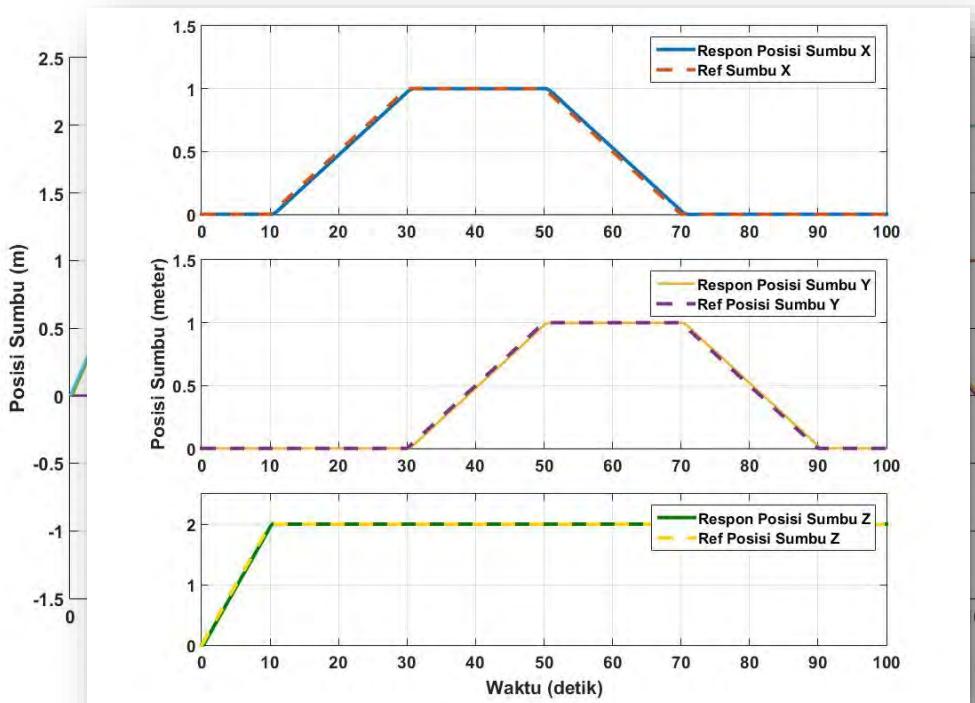
Panjang dan lebar = 1 m
Waktu simulasi = 100 detik

RMS X = 1,79%
RMS Y = 1%
RMS Z = 1,59%





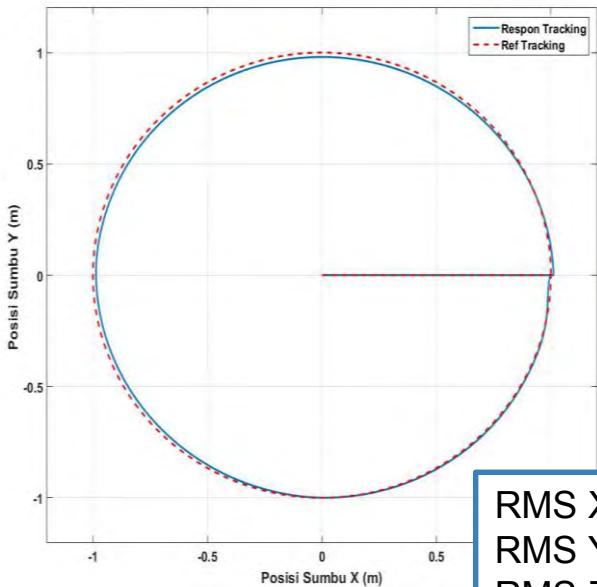
Respon Sumbu X, Y, Z



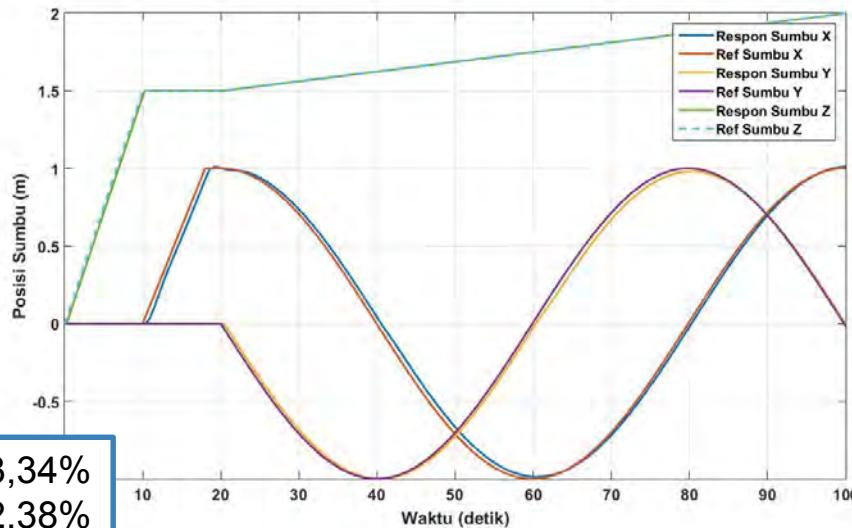


Respon Quadcopter

Trajectory Tracking dengan disturbance



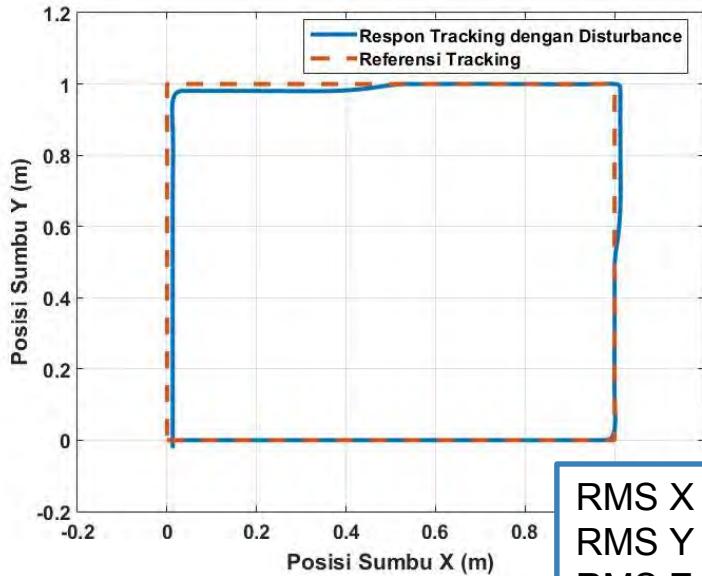
RMS X = 3,34%
RMS Y = 2,38%
RMS Z = 1,5 %



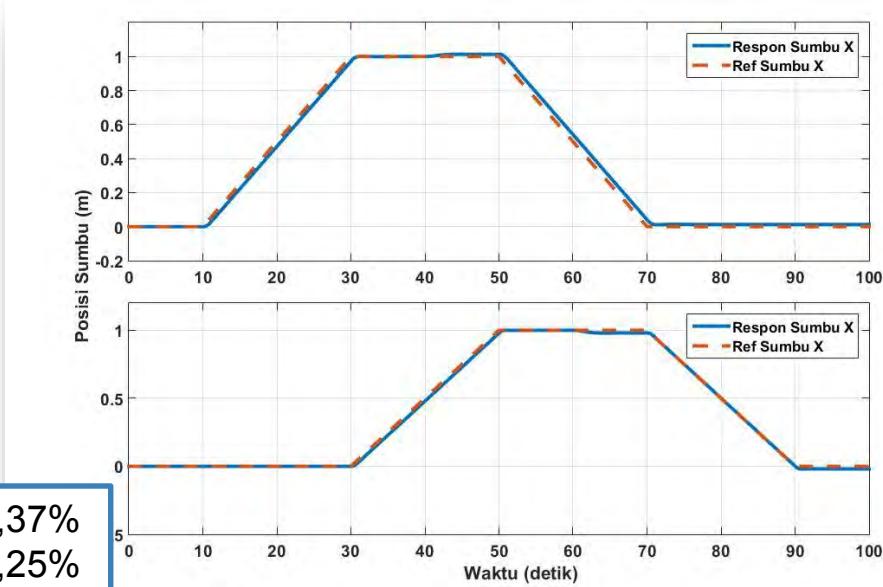


Respon Quadcopter

Trajectory Tracking dengan disturbance



RMS X = 2,37%
RMS Y = 1,25%
RMS Z = 1,59%



4

Penutup





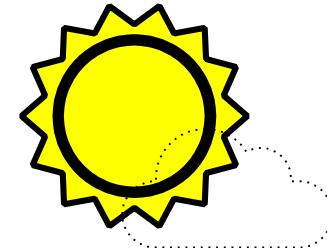
Kesimpulan

- Kontroler MPC yang digunakan bergantung pada pemodelan dan linearisasi Plant.
- Pengendalian quadcopter membutuhkan respon rotasi yang lebih cepat dari pada respon translasi.
- Respon Quadcopter yang dikendalikan dengan kontroler MPC saat melakukan trajectory tracking khususnya gerakan cruise dapat mengikuti referensi tracking yang diberikan dengan parameter kontroler Np_x sebesar 20, Np_y sebesar 14 dan Np_z sebesar 10, walaupun masih terdapat lagging pada setiap sumbu.





Terima Kasih





Lampiran





Menghitung thrust

$$b = \frac{mg}{\sum_{i=0}^4 \Omega_i^2}$$

Konstanta *drag* dihitung dengan persamaan gerak lurus berubah beraturan.

Pengukuran konstanta *drag* dilakukan dengan mengambil data penerbangan quadcopter pada saat *take-off*. Gaya yang terjadi saat quadcopter bergerak ke atas dapat diperoleh menggunakan Persamaan (3.17).

$$\sum F = Thrust - mg - Drag$$

$$ma = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4) - mg - D$$





Untuk mencari parameter tersebut digunakan pendekatan model.

$$\dot{p} = a_1 qr + b_1 q\Omega + c_1 U_2$$

$$\dot{q} = a_2 pr + b_2 p\Omega + c_2 U_3$$

$$\dot{r} = a_3 pq + b_3 U_4$$

$$\begin{bmatrix} qr & q\Omega & U_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{bmatrix} = \dot{p}$$

$$\begin{bmatrix} pr & p\Omega & U_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 \\ b_2 \\ c_2 \end{bmatrix} = \dot{q}$$

$$\begin{bmatrix} pq & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 \\ b_3 \end{bmatrix} = \dot{r}$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} qr \\ q\Omega \\ U_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} qr & q\Omega & U_2 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} qr \\ q\Omega \\ U_2 \end{bmatrix} \dot{p}$$

$$\begin{bmatrix} a_2 \\ b_2 \\ c_2 \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} pr \\ p\Omega \\ U_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pr & p\Omega & U_3 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} pr \\ p\Omega \\ U_3 \end{bmatrix} \dot{q}$$

$$\begin{bmatrix} a_3 \\ b_3 \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} pq \\ U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pq & U_4 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} pq \\ U_4 \end{bmatrix} \dot{r}$$

