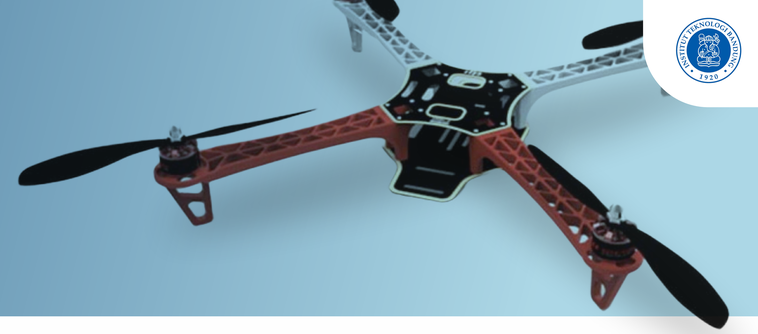
Pengembangan Simulator *Hardware in the Loop* untuk Quadrotor dan Aplikasi Sistem Kontrol Model Prediksi

Deedat Fatahillah
NIM 13320072

Dosen Pembimbing:
Faqihza Mukhlish, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Eko Mursito Budi, M.T.



Latar Belakang

Selama beberapa tahun terakhir, pengembangan teknologi quadrotor, jenis UAV dengan empat rotor, telah berkembang pesat karena kemampuannya bermanuver lebih baik dibandingkan jenis UAV lainnya. Quadrotor digunakan dalam berbagai aplikasi seperti logistik, misi penyelamatan, dan militer.

Logistik

Misi Penyelamatan

Militer

Quadrotor menghadapi tantangan dalam desain dan implementasi sistem kontrol akibat gangguan lingkungan, dinamika non-linear, dan variabel terkait, membuat kontrol tradisional kurang efektif dan respons gerak tidak stabil.

MPC dapat mengatasi kelemahan ini dengan menangani batasan sistem dan bekerja baik pada sistem non-linear dan multivariable. Validasi kontrol dengan metode *Hardware in the Loop* (HIL) memastikan efektivitas komputasi dan penerapan pada perangkat keras sesungguhnya.

Batasan dan Asumsi

1. Quadrotor merupakan benda yang tegar dan simetris.
2. Massa dan momen inersia dari quadrotor adalah konstan.
3. Titik pusat massa berada pada titik tengah dari quadrotor.
4. Masing-masing motor dari quadrotor memiliki dinamika yang sama dengan konstanta waktu sebesar 0,05 detik.
5. Quadrotor hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi, resistansi udara, dan gaya angkat dari baling-baling.
6. Hembusan angin diasumsikan sebagai gangguan dari sistem.

Perangkat Keras Penelitian

Frame DJI F450

Pixhawk 1

Hobbywing ESC 40A

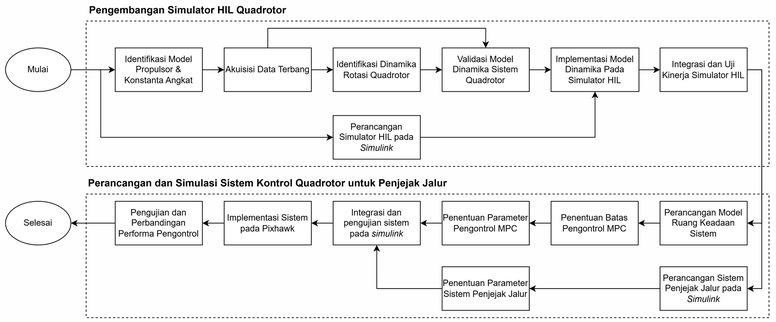
Baterai LiPo 4s

BLDC 2212 920KV

DJI 9560 Propeller

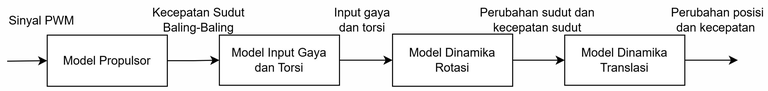
Metodologi Penelitian

Pengerjaan penelitian ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu pengembangan simulator HIL quadrotor, denganperancangan dan simulasi kontrol quadrotor untuk penjejak jalur.

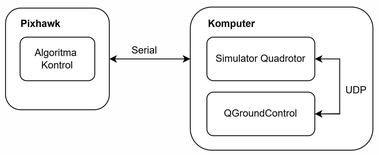


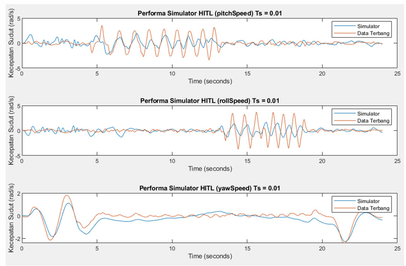
Pengembangan Simulator

Dalam memodelkan dinamika quadrotor, sistem quadrotor dapat dibagi menjadi empat sub sistem dasar yakni:



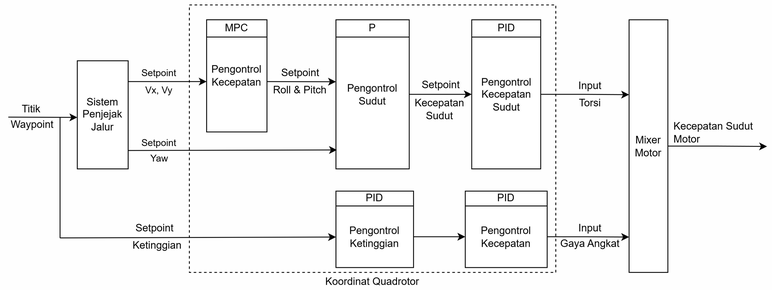
Berbagai parameter dari sub sistem ini akan diestimasi melalui metode *system identification* dengan akurasi sebesar (24,96%; 21,06%; 25,94%). Model dengan parameter ini akan diterapkan secara waktu nyata pada simulator dengan waktu cacah sebesar 0,01 sekon. Ilustrasi diagram blok simulator dan hasil keluaran dari simulator dapat dilihat pada gambar berikut.





Perancangan Sistem Kontrol & Penjejakan

Sistem kontrol dan sistem penjejakan yang dirancang dan diimplementasi pada pengontrol perangkat keras secara langsung memiliki struktur sebagai berikut.



Sistem penjejakan jalur yang diimplementasi pada pengontrol perangkat keras ada dua yaitu:

1. Sistem penjejakan berbasis **medan vektor**
2. Sistem penjejakan dengan **pemisahan transisi**

Sistem kontrol model prediksi yang akan diimplementasi memiliki komponen sebagai berikut.

Model Internal

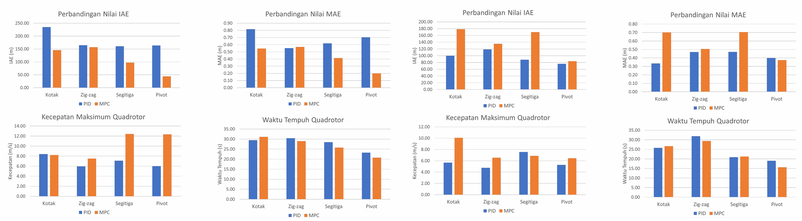
$$\begin{bmatrix}\dot{x}_b\\ \ddot{x}_b\\ \dot{y}_b\\ \ddot{y}_b\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&1\\0&0&0&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_b\\ \dot{x}_b\\ y_b\\ \dot{y}_b\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0&0\\-g&0\\0&0\\0&g\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\theta\\ \phi\end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix}0&1&0&0\\0&0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_b\\ \dot{x}_b\\ y_b\\ \dot{y}_b\end{bmatrix}$$

Fungsi Objektif

$$\min J = \sum_{i=1}^{N_p}(y_{k+i}-r)^T Q(y_{k+i}-r) + \sum_{j=0}^{N_c}\Delta U_{(k+j)}^T R \Delta U_{(k+j)}$$

Performa pengontrol akan diuji pada empat jenis lintasan yaitu lintasan kotak, zig-zag, segitiga, dan pivot. Perbandingan performa sistem kontrol dapat dilihat sebagai berikut.



Kesimpulan

Simulator quadrotor HIL waktu nyata telah dirancang dan divalidasi dengan akurasi (23,74%; 5,79%; 5,86%) dan waktu cacah 0,01 sekon. Simulator ini digunakan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penjejakan dan kontrol model prediksi (MPC) pada quadrotor, yang menunjukkan hasil lebih baik dan lebih agresif dibandingkan pengontrol PID.