

IDENTIFIKASI PARAMETER SISTEM TANDU UNTUK KEPERLUAN SIMULASI SISTEM KONTROL

*Ayu Aprilia¹, Joga Dharma Setiawan², Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: ayuaprilial704@gmail.com

Abstrak

Sistem tandu yang digunakan dalam evakuasi udara, terutama pada helikopter, memerlukan stabilisasi agar tetap seimbang selama operasi. Untuk merancang sistem kontrol yang efektif, diperlukan identifikasi parameter sistem yang akurat guna mendukung simulasi dan analisis performa kendali. Penelitian ini berfokus pada penentuan parameter utama sistem tandu, termasuk massa, momen inersia, gaya aerodinamika, torsi aktuator, serta respons sensor terhadap dinamika sistem. Metode eksperimen dan pemodelan numerik digunakan untuk mengukur serta memvalidasi parameter yang diperoleh. Hasil dari studi ini akan menjadi dasar dalam pengembangan model simulasi sistem kontrol, yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan algoritma kendali stabilisasi tandu dalam berbagai kondisi operasional.

Kata kunci: identifikasi parameter; simulasi kontrol; sistem tandu; stabilisasi

Abstract

A stretcher system used in aerial evacuation, particularly on helicopters, requires stabilization to maintain balance during operation. To design an effective control system, accurate identification of system parameters is essential to support simulation and performance analysis. This study focuses on determining key parameters of the stretcher system, including mass, moment of inertia, aerodynamic forces, actuator torque, and sensor response to system dynamics. Experimental methods and numerical modeling are employed to measure and validate the obtained parameters. The results of this study serve as a foundation for developing a control system simulation model, which can be used to optimize stabilization control algorithms under various operational conditions..

Keywords: control simulation; parameter identification; stabilization; stretcher system

1. Pendahuluan

Sistem tandu helikopter memainkan peran penting dalam operasi evakuasi medis udara, di mana stabilitas dan keselamatan pasien sangat bergantung pada desain dan fungsionalitas sistem ini. Selama penerbangan, tandu dapat mengalami gangguan eksternal seperti turbulensi udara, getaran akibat putaran rotor, perubahan arah dan kecepatan helikopter. Tanpa sistem kontrol yang memadai, tandu dapat berayun atau berputar tidak terkendali, yang dapat membahayakan pasien maupun tenaga medis yang mendampinginya. Oleh karena itu, perlunya pengembangan sistem kontrol stabilisasi tandu menjadi sangat penting dalam memastikan keselamatan dan kenyamanan selama transportasi udara [1], [2].

Dalam perancangan sistem kontrol, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi parameter utama dari sistem tandu. Parameter-parameter ini meliputi massa dan distribusi beban, momen inersia, karakteristik aerodinamika, dan respons aktuator dan sensor. Massa dan distribusi beban sangat mempengaruhi dinamika gerak tandu, terutama dalam kondisi penerbangan yang tidak stabil [3]. Momen inersia menentukan bagaimana tandu merespons terhadap gaya putar yang diberikan oleh sistem kontrol. Selain itu, karakteristik aerodinamika berperan dalam menentukan gaya hambat udara yang mempengaruhi pergerakan tandu selama penerbangan [4].

Metode identifikasi parameter sistem tandu dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti pengujian eksperimental, simulasi numerik, dan analisis modal. Pengujian eksperimental melibatkan pengukuran langsung respons tandu terhadap input tertentu, sehingga parameter dinamis dapat diekstraksi dengan lebih akurat. Sementara itu, simulasi numerik menggunakan model matematika untuk merepresentasikan perilaku sistem tandu dalam berbagai kondisi penerbangan, memungkinkan analisis yang lebih fleksibel sebelum implementasi fisik dilakukan [5] [6]. Analisis model juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi alami dan mode getaran tandu, yang berguna dalam memahami karakteristik dinamisnya serta mengembangkan sistem kontrol yang lebih efektif [7] [8].

Penerapan simulasi dalam perancangan sistem kontrol tandu helikopter menjadi sangat penting dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem. Dengan memiliki model sistem yang akurat berdasarkan parameter yang telah diidentifikasi, simulasi memungkinkan perancang untuk menguji dan memvalidasi algoritma kontrol sebelum diterapkan

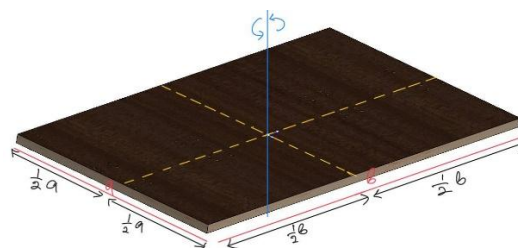
dalam sistem fisik. Hal ini dapat membantu mengoptimalkan desain kontrol guna mencapai stabilitas dan respons yang optimal di berbagai kondisi operasi. Studi terbaru menunjukkan bahwa simulasi berbasis model dapat secara signifikan mengurangi risiko kesalahan desain serta meningkatkan efisiensi waktu dan biaya dalam pengembangan sistem kontrol tandu helicopter [9] [10]. Meskipun berbagai metode identifikasi parameter telah dikembangkan, masih terdapat beberapa tantangan dalam proses ini. Salah satunya adalah variabilitas kondisi operasi yang dapat menyebabkan perubahan parameter sistem, seperti efek kecepatan angin, perubahan beban, dan manuver helikopter yang dinamis. Selain itu, interaksi nonlinier antara komponen sistem membuat pemodelan menjadi lebih kompleks dan menuntut pendekatan yang lebih canggih dalam analisisnya [5]. Keterbatasan sensor juga menjadi faktor penting dalam akurasi pengukuran parameter, terutama dalam lingkungan penerbangan yang penuh dengan gangguan eksternal. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dalam bidang ini diperlukan untuk mengembangkan metode identifikasi parameter yang lebih presisi, sehingga dapat mendukung implementasi sistem kontrol yang lebih efektif dan andal dalam operasi evakuasi medis udara.

2. Material dan Metode Penelitian

2.1 Proses integrasi komponen stabilisasi

Untuk memastikan kelancaran dan efisiensi penelitian, berikut adalah berbagai alat dan bahan yang perlu disiapkan sebelum memulai proses pengerjaan berupa laptop dengan tambahan *software* Matlab.

2.2 Pemodelan Solidworks



Gambar 1. Model Papan

Gambar 3 menunjukkan diagram benda bebas. Identifikasi momen inersia dilakukan melalui fitur *mass properties* pada Solidworks, yang memungkinkan perhitungan sifat massa, termasuk momen inersia, berdasarkan model tiga dimensi yang telah dibuat. Pemodelan tandu skala lab diuji dalam bentuk sederhana dengan papan landasan. Hasil inersia yang diperoleh sesuai dengan hasil dari Solidworks yaitu 0,19 Kg^m².

2.3 Pembuktian Perhitungan Momen Inersia

Pada bagian berikut, akan disajikan rumus pembuktian yang digunakan untuk memverifikasi hasil perhitungan inersia yang diperoleh melalui simulasi pada perangkat lunak Solidworks. Pembuktian ini bertujuan untuk memastikan keakuratan dan validitas hasil perhitungan yang telah dilakukan.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{total}} &= \frac{1}{12} m (a^2 + b^2) \\
 I_{\text{total}} &= \frac{1}{12} 3\text{kg} ((0,765 \text{ m})^2 + (0,395 \text{ m})^2) \\
 I_{\text{total}} &= \frac{1}{12} 3\text{kg} (0,741 \text{ m}^2) \\
 I_{\text{total}} &= 0,185 \text{ kgm}^2 \\
 I_{\text{total}} &= 0,19 \text{ kgm}^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

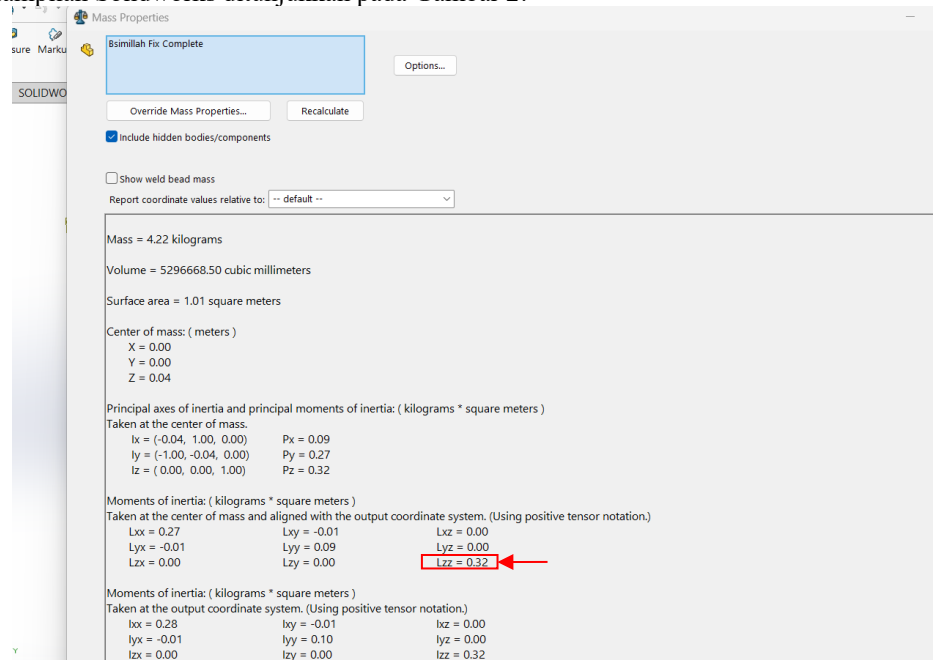
2.4 Penentuan Sistem Kontrol yang digunakan

Dalam penelitian ini, sistem kontrol yang digunakan untuk mengendalikan rotasi tandu adalah *Proportional-Derivative Controller* (PD). Pemilihan PD Controller didasarkan pada kebutuhan untuk mencapai respons sistem yang stabil dan cepat tanpa overshoot yang berlebihan. PD Controller dipilih karena memiliki keunggulan dalam meningkatkan performa sistem dengan memberikan aksi kontrol berdasarkan error posisi (proporsional) dan laju perubahan error (derivatif). Komponen proporsional (P) berfungsi untuk mengurangi *error steady-state* dengan meningkatkan respons terhadap perubahan posisi, sedangkan komponen derivatif (D) berperan dalam meredam osilasi dan meningkatkan stabilitas sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, parameter sistem tandu yang digunakan untuk simulasi sistem kontrol meliputi massa total, dimensi geometris, dan momen inersia. Identifikasi parameter dilakukan melalui kombinasi pengukuran langsung dan simulasi menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Massa dan dimensi tandu diperoleh melalui pengukuran fisik, sedangkan momen inersia dihitung menggunakan fitur Mass Properties pada Solidworks setelah pembuatan model tiga dimensi. Hasil perhitungan yang diperoleh dari menggunakan Solidworks yaitu inersia keseluruhan model prototipe

sebesar 0,32 Kgm² yang ditunjukkan oleh L_{zz} karena berotasi pada pusat massa yang mengarah pada sumbu z vertikal. Adapun untuk tampilan Solidworks ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Solidworks

Mengenai dinamika sistem tandu dalam pergerakan rotasi mengikuti hukum dasar dinamika rotasi, yang dinyatakan oleh persamaan (2)

$$\tau = I\ddot{\theta} \quad (2)$$

τ adalah torsi yang bekerja pada sistem, I adalah momen inersia tandu terhadap sumbu rotasi, dan $\ddot{\theta}$ adalah percepatan sudut. Persamaan ini menjadi dasar dalam analisis respon sistem terhadap gaya yang diberikan oleh aktuator *Electric Ducted Fan* (EDF). Dengan mengetahui nilai J yang diperoleh dari simulasi Simulink dan metode eksperimen seperti uji ayunan torsi, maka dapat diprediksi bagaimana sistem akan merespons torsi yang diberikan oleh aktuator.

Untuk mengendalikan rotasi tandu, digunakan (PD) *Proportional-Derivative Controller*, yang bertujuan untuk mencapai stabilisasi dengan mengurangi osilasi serta meningkatkan respons sistem terhadap gangguan. Kontroler PD bekerja dengan hukum kontrol seperti pada persamaan (3)

$$G(s) = K_p + K_d s \quad (3)$$

Implementasi PD Controller menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai kestabilan dengan meredam osilasi dalam waktu yang relatif singkat, serta menghasilkan respons tanpa overshoot berlebihan. Keakuratan parameter sistem sangat penting dalam desain pengendali stabilisasi tandu berbasis EDF, karena kesalahan estimasi dapat berdampak pada performa kontrol.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menentukan parameter sistem tandu untuk simulasi sistem kontrol, termasuk massa, dimensi, dan momen inersia, yang diperoleh melalui pengukuran langsung dan simulasi Solidworks dan Simulink. Validasi menggunakan persamaan $\tau = J\ddot{\theta}$ serta uji eksperimen menunjukkan akurasi parameter dalam batas toleransi yang dapat diterima. Implementasi PD *Controller* menunjukkan sistem yang stabil dan mampu meredam osilasi dengan baik.

5. Daftar Pustaka

- [1] C. Y. Lam, A. M. Cruz, and A. Fujiwara, "Optimizing travel route for medical services during evacuation: A network and shared mobility perspective," *Progress in Disaster Science*, p. 100407, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.pdisas.2025.100407.
- [2] A. Aubrion *et al.*, "Plan the evacuation of a hospital at imminent risk: A multimodal assessment for each hospital," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 103, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.ijdr.2024.104305.
- [3] A. Morock, T. Aldhizer, M. Y. Lanzerotti, A. Arena, J. Capps, and W. Lacarbonara, "A shortening pendulum: Hoisting control for medical evacuation rescues," *Int J Non Linear Mech*, vol. 158, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.nonlinmec.2023.104566.

-
- [4] N. Gecejová, M. Češkovic, P. Kurdel, and M. Gamcová, “The Methodology of Modification of the Conventional UAS for HEMS and SAR Support,” in *Transportation Research Procedia*, Elsevier B.V., 2024, pp. 13–24. doi: 10.1016/j.trpro.2024.11.003.
 - [5] Q. Xu and Y. Zhang, “Event-triggered nonlinear information fusion preview control of a two-degree-of-freedom helicopter system,” *Aerosp Sci Technol*, vol. 140, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.ast.2023.108474.
 - [6] P. A. Meehan and K. J. Austin, “Prediction of chaotic instabilities in a dragline bucket swing,” *Int J Non Linear Mech*, vol. 41, no. 2, pp. 304–312, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2005.08.004.
 - [7] C. Yang, J. Huang, and W. Singhose, “Dynamic modeling and oscillation control of industrial cranes transporting upright slender flexible payloads,” *Mech Syst Signal Process*, vol. 220, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.ymssp.2024.111676.
 - [8] R. S. Pal, “Modelling of helicopter underslung dynamics using kane’s method,” in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., 2020, pp. 536–542. doi: 10.1016/j.ifacol.2020.06.090.
 - [9] J. Ye and J. Huang, “Analytical analysis and oscillation control of payload twisting dynamics in a tower crane carrying a slender payload,” *Mech Syst Signal Process*, vol. 158, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ymssp.2021.107763.
 - [10] T. Zhao *et al.*, “Dynamic analysis and robust control of ship-mounted crane with multi-cable anti-swing system,” *Ocean Engineering*, vol. 291, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.116376.