

CB-03

PERANCANGAN AWAL ALAT PENGUKUR MOMEN INERSIA PADA PESAWAT TERBANG TANPA AWAK SECARA EKSPERIMEN BERBASIS ARDUINO

Yusuf Giri Wijaya¹, Ardian Rizaldi², Novita Atmasari³, Prasetyo Ardi Probo Suseno⁴, Fuad Surastyo Pranoto⁵, Angga Septiyana⁶, dan Eries Bagita Jayanti⁷

1.Pusat Teknologi Penerbangan, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jl. Raya LAPAN-Rumpin, Kab. Bogor, 16350, Indonesia

E-mail : yusuf.giri@lapan.go.id¹, ardian.rizaldi@lapan.go.id², novita.atmasari@lapan.go.id³, prasetyo.ardi@lapan.go.id⁴, fuad.pranoto@lapan.go.id⁵, Angga.septiyana@lapan.go.id⁶, eries.bagita@lapan.go.id⁷

Abstrak-- Salah satu parameter yang sangat penting untuk diketahui pada pesawat terbang tanpa awak adalah momen inersia. Momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak sangat mempengaruhi pada kestabilan dan sistem kendali pesawat terbang tanpa awak tersebut. Pengukuran momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak dapat dilakukan dengan cara perhitungan analitik dan ekperimental. Pada penelitian ini, pengukuran momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak akan dilakukan secara *eksperimental* berdasarkan metode pendulum seperti yang sudah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, pembacaan waktu masih menggunakan stopwatch yang manual sehingga memungkinkan terjadinya ketidakakuratan dalam pembacaan waktu. Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan awal untuk membuat alat pengukur momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak secara eksperimental dengan metode pendulum dan dengan melakukan otomatisasi pembacaan waktu dengan menggunakan Arduino Mega. Berapa banyak osilasi yang terjadi diukur menggunakan *sensor proximity* dan diolah menggunakan Arduino Mega yang memiliki fungsi *timer* sehingga dapat diketahui waktu yang dibutuhkan untuk memerlukan beberapa osilasi yang sudah ditetapkan. Perancangan awal ini juga telah dilakukan kegiatan validasi dengan cara membandingkan hasil pengukuran momen inersia secara eksperimen dan perhitungan analitik pada balok kayu yang diketahui dimensinya. Hasil dari kegiatan validasi tersebut adalah perbedaan antara pengukuran secara ekperimental dan perhitungan analitik sebesar 8,69%.

Kata Kunci : momen inersia, pesawat terbang tanpa awak, Arduino, Sensor proximity

I. PENDAHULUAN

Sebagai lembaga penelitian, Pusat Teknologi Penerbangan (Pustekbang) LAPAN memiliki salah satu program penelitian dan pengembangan pesawat terbang tanpa awak. Pesawat terbang tanpa awak yang dirancang oleh Pustekbang LAPAN bervairasi mulai dari yang berat totalnya 20 Kg sampai dengan 80 Kg. Kegiatan penelitian dan pengembangan yang dilakukan mulai dari melakukan perancangan, simulasi, pabrikasi, analisa dan pengujian. Pada kegiatan – kegiatan tersebut, terdapat salah satu parameter yang peranannya sangat penting dan wajib diketahui nilainya, yaitu momen inersia dari pesawat terbang tanpa awak [1]. Momen inersia adalah sifat pada suatu benda yang menolak perubahan posisi rotasinya [2]. Jika suatu benda memiliki momen inersia yang besar maka torsi yang dibutuhkan untuk menghasilkan perubahan posisinya juga semakin besar. Oleh karena itu, momen inersia sangat dibutuhkan untuk analisa kestabilan dinamis pesawat terbang dan pembuatan sistem kontrol pada pesawat terbang [1].

Pengukuran momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak dapat dilakukan dengan cara perhitungan analitik dan ekperimental [3]. Pengukuran secara analitik harus mempertimbangkan berat dari semua komponen pesawat terbang dan jaraknya terhadap posisi *center of gravity*, oleh karena itu

pengukuran secara eksperimental lebih mudah dan praktis untuk dilakukan [4]. Pengukuran secara eksperimental tepat jika diaplikasikan pada pesawat terbang yang berukuran kecil, seperti pesawat terbang tanpa awak [4]. Pada penelitian ini, pengukuran momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak akan dilakukan secara eksperimental dengan metode pendulum [5] [6]. Pada penelitian yang telah dilakukan [6] [3], pembacaan waktu masih menggunakan stopwatch yang manual sehingga memungkinkan terjadinya ketidakakuratan dalam pembacaan waktu. Peningkatan keakuratan pada pengukuran momen inersia pesawat terbang tanpa awak dapat ditingkatkan dengan cara melakukan otomatisasi penggunaan stopwatch untuk pengukuran waktu yang dibutuhkan [7]. Perangkat yang akan digunakan untuk otomatisasi pengukuran waktu adalah Arduino Mega dikarenakan terdapat fungsi timer di dalamnya dan hasil dari pembacaannya akan ditampilkan pada LCD [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan awal untuk membuat alat pengukur momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak secara eksperimental dengan metode pendulum. Alat tersebut akan dirancang menggunakan Arduino Mega untuk proses akuisisi dan pengolahan data.

II. METODOLOGI PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium instrumentasi yang terletak di Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN. Penelitian ini dilakukan pada bulan agustus 2020 sampai dengan bulan September 2020.

b. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama diawali dengan mempelajari literatur mengenai pengukuran momen inersia pada pesawat terbang. Tahap selanjutnya, Melakukan perancangan baik sistem mekanik, perangkat keras sistem akuisisi data dan perangkat lunak sistem akuisisi data. Perancangan awal dari alat pengukur momen inersia ini kemudian divalidasi dengan cara mengukur momen inersia dari balok kayu yang diketahui dimensinya. Data yang diukur pada pengujian tersebut adalah waktu yang digunakan untuk melakukan sejumlah osilasi yang telah ditentukan di awal pengujian. Kemudian pengukuran momen inersia secara eksperimental dibandingkan dengan perhitungan secara analitik untuk mengetahui tingkat perbedaan dari kedua perhitungan tersebut.

c. Perancangan Alat

Perancangan alat yang dilakukan terdiri dari perancangan sistem mekanik, perancangan perangkat keras sistem akuisisi data, dan perancangan perangkat lunak Sistem Akuisisi Data.

Perancangan sistem mekanik untuk pengukuran momen inersia dirancang berdasarkan prinsip kerja pendulum seperti yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [5]. Sistem mekanik ini terdiri atas besi yang dijadikan sebagai rangka utama tempat digantungkannya pesawat terbang tanpa awak. Alat ini akan digunakan untuk mengukur momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak yang memiliki berat total 30 Kg dan panjang sayap 5 m, oleh karena itu dimensi dari alat tersebut harus bisa memenuhi dari spesifikasi benda ujinya. Pesawat terbang tanpa awak digantung dan dapat diayunkan secara bebas tanpa adanya hambatan. Sistem penyangga digunakan sebagai dukungan pesawat terbang tanpa awak. Sistem penyangga ini dirancang agar bisa diubah arah sumbu axisnya, yaitu arah x, y, dan arah z. Sistem penyangga akan dibuat menggunakan kayu yang ringan. Rancangan awal sistem mekanis dapat dilihat pada gambar 1 [3].



Gambar 1. Rancangan alat pengukur momen inersia pesawat terbang tanpa awak

Untuk mendapatkan nilai momen inersia, pesawat terbang tanpa awak yang dipasang pada sistem penyangga diibaratkan sebagai pendulum. Sistem penyangga kemudian diayunkan dengan simpangan yang kecil [3]. Waktu yang diperlukan pada sistem penyangga tersebut untuk melakukan sejumlah osilasi akan dideteksi oleh sensor proximity. Pada osilasi pertama sensor proximity akan mendeteksi sistem penyangga sebanyak 3 kali kemudian untuk osilasi selanjutnya sebanyak 2 kali dan perhitungan akan berhenti ketika jumlah osilasi sudah sesuai yang kita inginkan. Waktu yang tercatat untuk melakukan beberapa osilasi tersebut kemudian ditampilkan di LCD. Nilai waktu tersebut kemudian diolah menggunakan persamaan matematis berikut untuk mengetahui nilai momen inersianya [3].

$$T = \frac{2\pi}{r} \sqrt{\frac{LI}{mg}} \quad (21)$$

Perangkat keras yang digunakan pada sistem akuisisi data adalah sebagai berikut:

1. Catu Daya

Catu daya berfungsi untuk memberikan daya pada komponen yang digunakan. Catu daya yang digunakan adalah sebesar 12 VDC. Modul Arduino mega memerlukan catu daya 12 VDC sedangkan untuk sensor dan LCD akan menggunakan Tegangan keluaran dari Arduino Mega yaitu sebesar 5 VDC.

2. Arduino Mega

Arduino mega berfungsi untuk melakukan perhitungan waktu yang diperlukan benda uji melakukan osilasi. Arduino mega memiliki spesifikasi antara lain; menggunakan mikrontroller ATMEGA 2560, memiliki pin digital I/O sebanyak 54 buah, pin analog input sebanyak 16 buah, dan 4 pin serial (UART). Modul ini dilengkapi dengan Kristal 16 Mhz, port USB, dan port untuk catu daya sebesar 12 VDC [9]. Modul Arduino Mega yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Modul Arduino Mega [9]

3. Sensor Proximity

Sensor proximity digunakan untuk menghitung jumlah osilasi pada benda uji. Output dari sensor proximity adalah sinyal dalam bentuk digital. Sensor ini memberikan logika yang berbeda saat sensor tersebut didekati oleh benda uji. Setiap logika yang didapat saat sensor didekati benda uji akan disimpan dan dihitung oleh Arduino mega. Sensor proximity yang digunakan adalah jenis infrared. Sensor ini dapat mendeteksi objek dengan rentang jarak 2 sampai 30 cm. Sensor ini memerlukan catu daya sebesar 5 VDC. Output dari sensor ini dapat dihubungkan langsung ke modul Arduino mega [10].

4. Push Button

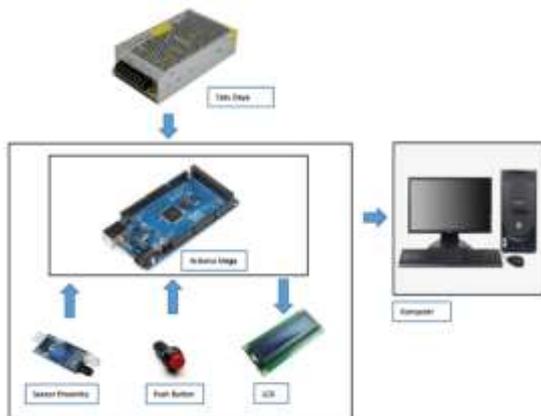
Push button digunakan untuk memasukkan nilai berapa osilasi yang akan dihitung waktunya. Pada perancangan alat pengukur momen inersia ini akan menggunakan dua buah push button. Kedua buah push button tersebut akan dikoneksikan ke modul Arduino Mega dengan logika *active low*.

5. LCD

LCD digunakan untuk menampilkan nilai waktu yang diperlukan untuk melakukan sejumlah osilasi yang telah ditentukan dan berapa kali sensor proximity mengenai benda uji. LCD yang digunakan pada penelitian ini dihubungkan dengan modul Arduino Mega dengan komunikasi serial jenis I2C.

6. Komputer

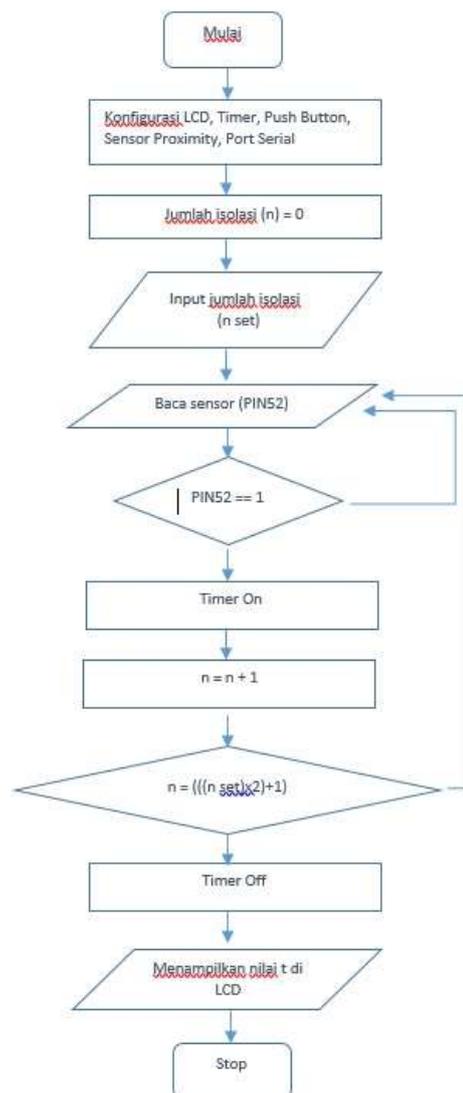
Komputer digunakan untuk membuat program yang akan diupload ke dalam modul Arduino Mega. Diagram blok perancangan alat pengukur momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok alat pengukur momen inersia

Bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino adalah Bahasa pemrograman C. Pemrograman tersebut dilakukan menggunakan software buatan dari Arduino (Arduino IDE). Pemrograman ini diawali dengan melakukan konfigurasi awal untuk LCD, sensor proximity, port input output, dan timer. Langkah selanjutnya adalah melakukan deklarasi variable. Kemudian memasukkan jumlah osilasi dengan menggunakan push button. Jika sensor proximity didekati oleh benda uji maka akan otomatis menyalakan timer sampai dengan jumlah osilasi yang diinginkan terpenuhi. Hasil dari pembacaan waktu dan jumlah osilasinya akan ditampilkan pada LCD.

Diagram alir untuk perancangan alat pengukur momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pemrograman di modul Arduino Mega

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Validasi Alat Pengukur Momen Inersia Pesawat Terbang Tanpa Awak

Sebelum membuat alat pengukur momen inersia pesawat terbang tanpa awak dengan skala penuh, pada penelitian ini dibuat mekanisme sistem bandul sederhana untuk skala yang lebih kecil yang digunakan untuk menghitung momen inersia dari sebuah balok kayu. Sistem ini berfungsi untuk memvalidasi apakah sensor, modul Arduino, dan LCD sudah bekerja dengan benar. Pengaturan peralatan untuk kegiatan validasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaturan peralatan untuk pengujian

Hasil pengukuran balok kayu secara eksperimental kemudian dibandingkan dengan perhitungan analitik yang menggunakan persamaan berikut [3]:

$$I = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \tag{22}$$



Gambar 6. Skema pengujian awal

Dimana *m* adalah massa benda. Nilai *a* dan *b* dapat dilihat dari konfigurasi pengujian di gambar 6. Dengan persamaan 2 untuk ukuran balok kayu dengan tebal 1.5 cm dan lebar 8.5 cm didapat nilai momen inersia sebesar 0,0000447 kgm². Balok kayu digantungkan dengan dua buah tali yang mempunyai panjang 20 cm dan jarak antara kedua tali adalah 4 cm. Hasil perhitungan momen inersia dari balok kayu tersebut secara eksperimental dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan momen inersia pada sebuah balok kayu secara eksperimen.

No	Jumlah osilasi	Waktu osilasi (s)	Periode (s)	Momen inersia (Kgm ²)	Selisih (%)
1	10	10,45	1,045	3,9075E-05	12,58
2	10	10,45	1,045	3,9075E-05	12,58
3	10	10,48	1,048	3,93E-05	12,08
4	10	10,48	1,048	3,93E-05	12,08
5	10	10,45	1,045	3,9075E-05	12,58
6	20	21,96	1,098	4,3139E-05	3,49
7	20	21,98	1,099	4,3218E-05	3,32
8	20	21,97	1,0985	4,3179E-05	3,40
9	20	21,95	1,0975	4,31E-05	3,58
10	20	22	1,1	4,3297E-05	3,14
11	30	31,38	1,046	3,915E-05	12,42
12	30	31,68	1,056	3,9902E-05	10,73
13	30	32,34	1,078	4,1582E-05	6,98
14	30	31,97	1,065	4,0636E-05	9,09
15	30	31,41	1,047	3,9225E-05	12,25

b. Pembahasan.

Berdasarkan kegiatan validasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa rata – rata nilai momen inersia dari balok kayu yang diukur secara eksperimental adalah 0,0000408169 kgm² dan secara perhitungan analitik adalah 0,0000447 kgm². Perbedaan rata – rata antara perhitungan eksperimental dan analitik adalah sebesar 8,69%. Hasil dari kegiatan validasi tersebut sudah menunjukkan hasil yang cukup bagus dengan nilai kesalahan dibawah 10%. Kesalahan pada kegiatan pengukuran dapat diakibatkan oleh beberapa sebab, antara lain: ketidakpastian dalam pengukuran, Massa jenis dari benda uji yang tidak homogen, konstruksi yang dibuat untuk dijadikan sistem pendulum tidak rigid dan kuat sehingga benda uji tidak beresilasi dengan sempurna [3].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan awal untuk pembuatan alat pengukur momen inersia pada pesawat terbang tanpa awak dengan menggunakan Arduino Mega dapat disimpulkan yaitu:

- a. Sistem ini terdiri dari tiga bagian, antara lain sistem mekanik, perangkat keras sistem akuisisi data, dan sistem perangkat lunak sistem akuisisi data.
- b. Rancangan alat pengukur momen inersia ini dapat mengukur pada pada pesawat terbang tanpa awak dengan berat 30 Kg dan panjang sayap 5 m.
- c. Hasil dari perancangan sudah divalidasi dengan melakukan pengukuran momen inersia pada balok kayu yang telah diketahui dimensinya. Hasil dari kedua metode perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dan didapat selisihnya 8,69%.
- d. Perancangan yang sudah dilakukan akan dilanjutkan pada penelitian selanjutnya untuk memperbaiki tingkat kesalahan pengukuran dengan cara pemilihan jenis sensor dan pembuatan sistem mekanik yang kuat dan rigid.
- e. Penelitian selanjutnya juga akan menerapkan perancangan yang sudah dibuat pada benda uji berupa pesawat terbang tanpa awak dan membandingkannya dengan hasil simulasi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Junos, N. Mohd Suhadis, and M. M. Zihad, "Experimental determination of the moment of inertias of USM e-UAV," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 465–466, no. December, pp. 368–372, 2014.
- [2] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fisika Dasar I Edisi 7 Jilid I*. Jakarta: Erlangga, 2010.
- [3] O. Arifianto and I. Safi'i, "Pengembangan Laboratorium Terbang Berbasis Uav: Pemodelan Momen Inersia," pp. 201–212, 2019.

- [4] a Teimourian and D. Firouzbakht, "A practical method for determination of the moments of itertia of unmanned aerial vehicles," *Ital. Assoc. Aeronaut. Astronaut.*, no. September, 2013.
- [5] M. P. Miller, "An Accurate Method of Measuring The Moments of Inertia," 2010.
- [6] F. Luiz, D. S. Bussamra, C. Miguel, and M. Vilchez, "Experimental Determination of Unmanned Aircraft," *Brazilian Symp. Aerosp. Eng. Appl.*, 2009.
- [7] N. Rivia, Z. Kamus, M. Fisika, S. Pengajar, and J. Fisika, "Pembuatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital," vol. 8, no. 1, pp. 81–88, 2016.
- [8] T. Jinakheiw, W. Ratchakham, M. Thepnurat, and A. Tong-On, "Using the Arduino with LabVIEW on Moment of Inertia experiment," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1144, no. 1, 2018.
- [9] "Arduino MEGA 2560 & Genuino MEGA 2560," 2020. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560/>.
- [10] "Obstacle Avoidance Sensor Module for Arduino." 2020.