

SENSOR SYSTEM DESIGN FOR *PROPELLER* TEST BENCH

M. Nurul Ihsan¹, Denny Dermawan², Lazuardy Rahendra P³

^{1,2,3}Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto
mnihsan27@gmail.com, lazuardypr@itda.ac.id,

Abstract

The sensor system is a system that functions to detect signals that come from changes in energy such as electrical energy, physical energy, chemical energy, biological energy, mechanical energy, and so on. The propeller test bench is an propeller performance testing platform prior to propeller installation on an aircraft to ensure engine suitability. The purpose of this design is to test the performance capability of the engine with the right sensor system measurement tool so that it can generate the value of thrust, rpm speed, and the temperature of an engine which will be designed to be used in the learning process to support propulsion practicum activities. The method used in this research is an experimental method of sensor system design. The design of the sensor system consists of a tachometer as a rpm measurement sensor, a thermostat as a sensor to measure the temperature of the propeller spool and temperature of the engine fin, and also a load cell as a sensor to measure the thrust value. The sensor system test results were then validated using the measurement results by the sensor manufacturer. The test was carried out on a wood-type propeller measuring 22 x 8 chords 4,5 cm and 5 cm. Based on the test results, it is known that the chord wood type propeller is 4,5 cm, at the maximum rpm is 7021.7, the resulting thrust value is 6.75. In testing the 5cm chord wood type propeller shows the maximum speed of 6977.5 produces a thrust of 6.95. Validation was carried out on the measurement results of rpm and thrust, the average error factor obtained for 4,5 cm chord wood type propeller was 0.783%, while for 5 cm chord wood type propeller the average error factor obtained was 1.0582%. From the resulting average error, it can be concluded that the measuring instrument for this sensor system has good accuracy.

Keywords: *Propeller Test Bench, Tachometer, Thermostat, Load cell, and Arduino UNO.*

1. Pendahuluan

Propeller test bench merupakan sebuah *platform* pengujian performa *propeller* sebelum dilakukannya pemasangan pada pesawat untuk memastikan kelayakan *propeller*. Pengujian dilakukan untuk mengembangkan produk baru dari penelitian ekperimental di industri manufaktur seperti pesawat dan *drone*. ^{[1][2]} Pengujian performa pada *propeller test bench* terdiri dari pengujian untuk rpm, torsi, dan gaya dorong. Penelitian ini membahas mengenai perancangan sistem sensor untuk pengujian *propeller test bench*. Rancangan alat ukur ini terdiri dari sensor rpm, sensor suhu pada *engine fin*, sensor suhu pada *spool propeller*, dan sensor *thrust* menggunakan *load cell (strain gauge)* yang ditampilkan pada *display box*. ^{[3][4]} ^[5] Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh LAPAN (2018), namun hal yang membedakannya adalah pemilihan *propeller* dan juga parameter yang diukur. Tujuan dilakukan perancangan ini, yaitu untuk menguji performa dari *propeller* dengan alat ukur sistem sensor yang terdiri dari pengukuran nilai *thrust* atau daya dorong, kecepatan rpm, dan suhu dari *engine*. ^{[6][7]} Secara garis besar, pembuatan sistem sensor ini bertujuan untuk meminimaisir terjadinya kecelakaan kerja selama dilakukannya pengujian. Sistem sensor ini diharapkan dapat digunakan sebagai penunjang proses pembelajaran dalam kegiatan praktikum propulsi khususnya di kampus Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA). ^[8]

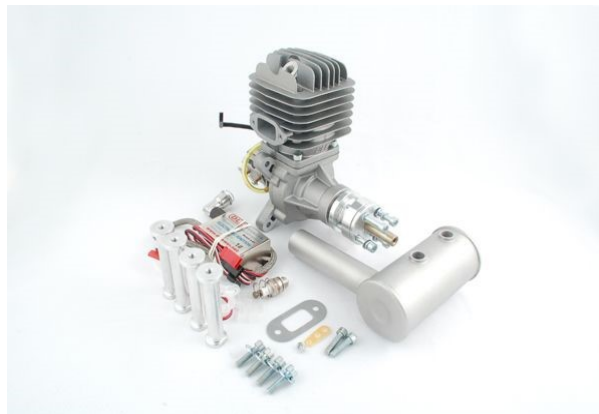
2. Metodologi Penelitian

a. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah *Engine DLE 55 CC Single Cylinder Petrol*, dengan tujuan untuk mengukur performa *engine* untuk mengetahui nilai *thrust engine*, *temperature spool propeller*, dan *temperature engine fin*.^{[9][10][11]} Spesifikasi dari *engine* ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi *engine* DLE-55RA 55CC

<i>Displacement</i>	55.6 CC / 3.4 cu in
<i>Bore</i>	1.77 in / 45 mm
<i>Stroke</i>	1.38 in / 35 mm
<i>RPM range</i>	1.350-7.500
<i>Output</i>	5.5 hp / 8.500 rpm
<i>Weight</i>	1330 g / 46.91 oz (<i>engine</i>)
	90 g / 3.17 oz (<i>muffler</i>)
	130 g / 4.58 oz (<i>ignition</i>)



Gambar 1. *Engine DLE 55 CC Single Cylinder Petrol*

b. Propeller Uji

Objek penelitian sistem sensor ini juga dilakukan pada *propeller* tipe kayu dengan ukuran 22 x 8 *chord* 4,5 cm dan ukuran 22 x 8 *chord* 5 cm. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai rpm dari *propeller* dengan kecepatan minimum saat pengujian sebesar 1.500 rpm dan kecepatan maksimum sebesar 7.500 rpm.



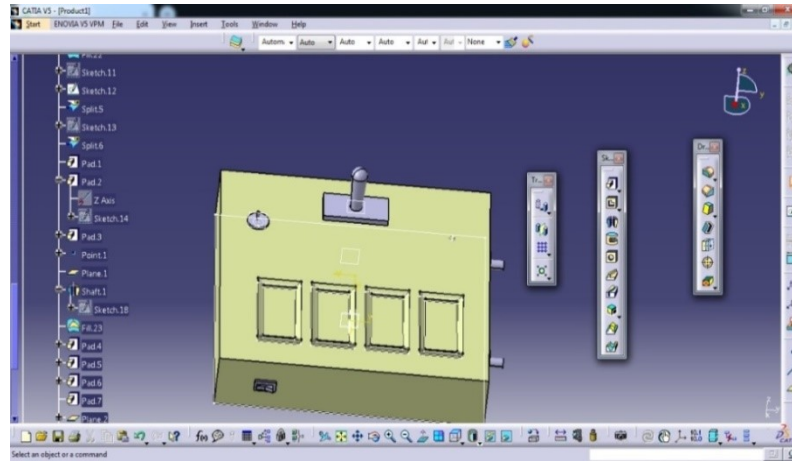
Gambar 2. *Propeller* Tipe kayu 22 x 8
Chord : 4,5 cm



Gambar 3. *Propeller* Tipe Kayu 22 x 8
Chord : 5 cm

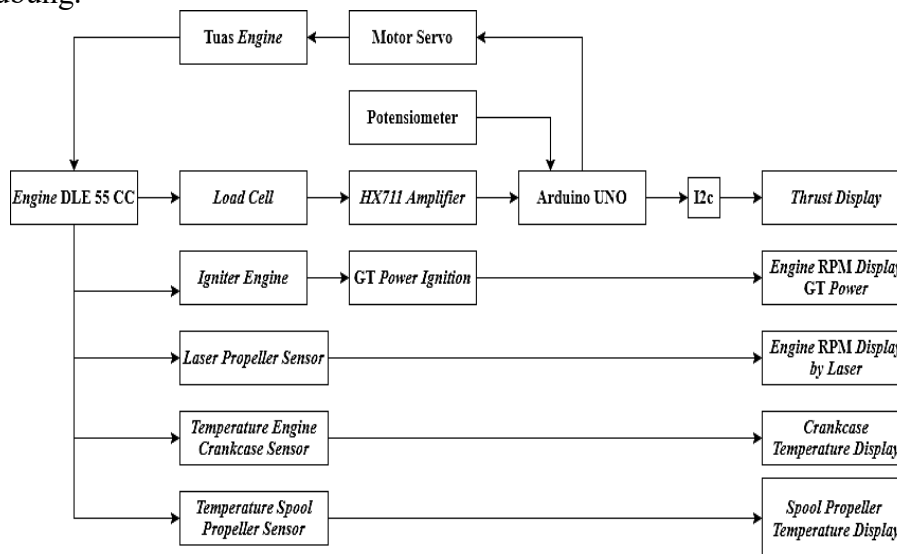
c. Perancangan Sistem Sensor

Konsep awal perancangan sistem sensor dimulai dengan perancangan *display box* yang dilakukan dengan *software* CATIA V5. *Display box* dibuat menggunakan akrilik dengan ketebalan 5 mm dengan ukuran 30 cm x 23 cm x 10 cm.



Gambar 4. Desain Awal *Display box* Sistem Sensor pada CATIA V5

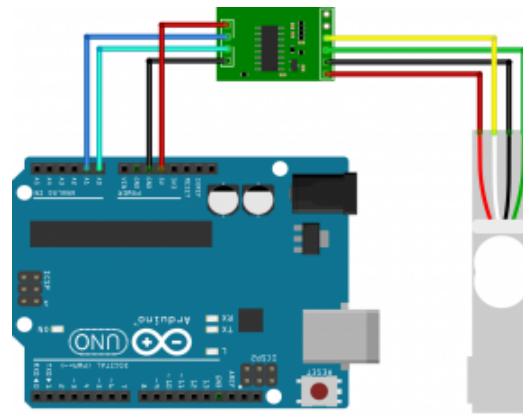
Rancangan sistem sensor ditampilkan dengan *block diagram* yang berfungsi untuk memberikan gambaran dari sistem atau program yang masing-masing fungsinya diwakili oleh gambar kotak berlabel, dan hubungan diantaranya digambarkan oleh garis penghubung.



Gambar 5. *Block Diagram* Sistem Sensor

d. Perancangan Parameter Thrust

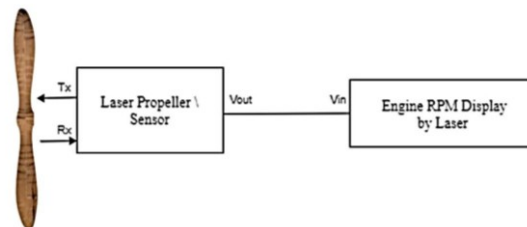
Komponen yang digunakan pada perancangan parameter *thrust* terdiri dari *load cell*, HX711, Arduino UNO, modul I2c, dan LCD 16 x 2 dihubungkan dengan kabel *jumper* dengan warna dan fungsi yang berbeda.

Gambar 6. Rangkaian Arduino dengan *Load cell*

No.	Pin Arduino	Pin Hx711
1.	5V	VCC
2.	GND	GND
3.	4	DT
4.	5	SCK

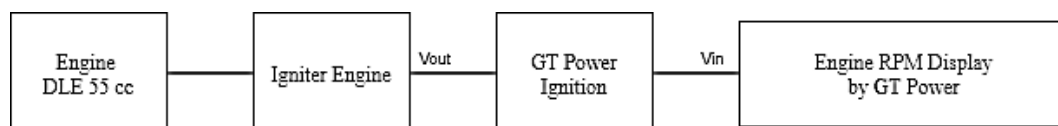
e. Perancangan Parameter *Engine RPM by Laser*

Perancangan parameter *engine rpm by laser* dapat dilihat pada *Schematic* diagram pada Gambar 7. Sensor ini menggunakan digital *tachometer* dengan prinsip kerja menembakan cahaya laser menuju objek yang diukur dengan *transmitter* sebagai pengantarnya dan *receiver* sebagai penerima pantulan cahaya laser tersebut. Putaran *propeller* yang diukur akan ditampilkan nilainya pada *display engine rpm* yang terdapat pada *display box*.

Gambar 7. *Schematic* Diagram Parameter *Engine RPM by Laser*

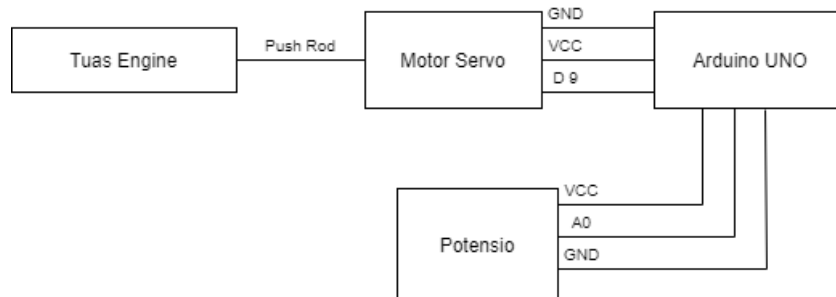
f. Perancangan Parameter *Engine RPM by GT Power*

Block diagram parameter *engine rpm by gt power* dapat dilihat pada *schematic* diagram Gambar 8. Sensor ini menjelaskan rangkaian *engine* dengan *GT Power Ignition*. Sensor *GT Power Ignition* terpasang di *spool propeller* yang berfungsi untuk mengukur nilai RPM dari *spool propeller*, terhubung melalui *igniter engine*. Hasil pengukuran rpm akan ditampilkan pada *engine RPM display GT Power* yang terletak pada *display box*.

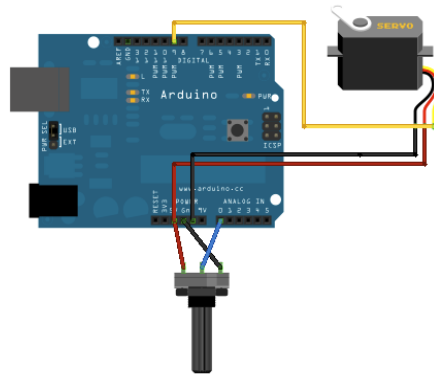
Gambar 8. *Block* Diagram Parameter *Engine RPM by GT Power*

g. Perancangan Parameter *Speed Engine*

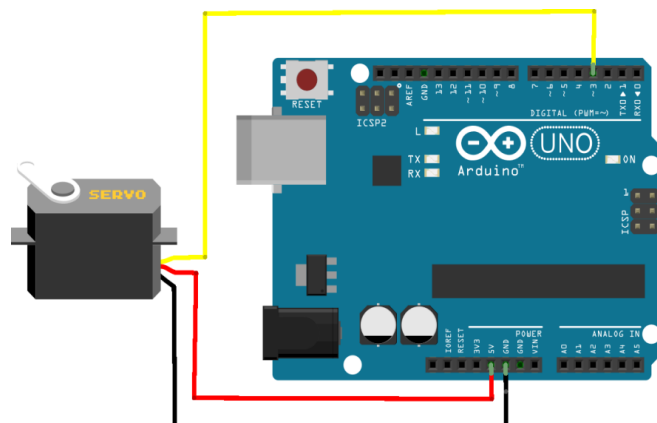
Block diagram perancangan parameter *speed engine* dapat dilihat pada Gambar 9. Hal ini dibuat untuk mempermudah pembacaan rangkaian *engine* dengan potensiometer, Arduino UNO dan motor servo. Tuas *engine (throttle)* untuk mengatur kecepatan *engine* diatur oleh motor servo yang terhubung dengan *push rod*, motor servo di program pada arduino yang dihubungkan dengan potensiometer untuk mengatur kecepatan dari *engine* tersebut.



Gambar 9. Schematic Diagram Parameter *Speed Engine*



Gambar 10. Rangkaian Arduino dengan Potensiometer



Gambar 11. Rangkaian Arduino dengan Servo

h. Pemrograman pada Arduino UNO

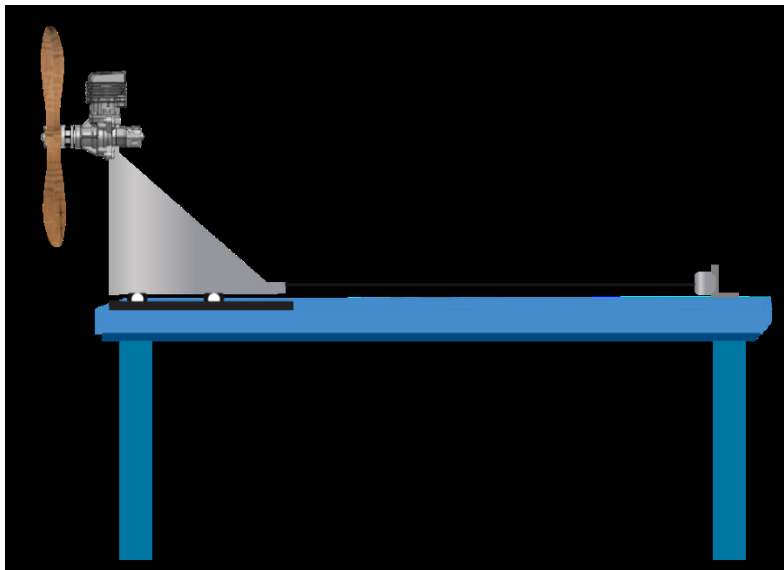
Pemrograman pada Arduino UNO dilakukan menggunakan *software* Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang bersifat *open source*. Arduino IDE berfungsi sebagai editor program yang memungkinkan membuat, mengedit dan memvalidasi kode program.



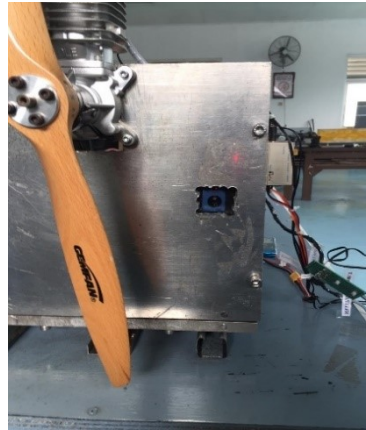
Gambar 12. Script program pada Arduino IDE

i. Perancangan Hardware

Pembuatan sistem sensor pada *engine test bed* berfungsi untuk mengetahui performa dari *engine* tersebut. Langkah awal yang dilakukan adalah merakit komponen utama, seperti LCD (*Liquid Crystal Display*) 16 x 2, *thermostat*, digital *tachometer*, potensiometer, motor *servo*, dan *load cell* yang dihubungkan dengan Arduino UNO. Apabila semua sensor telah dirangkai dengan Arduino UNO, komponen selanjutnya dipasang pada *display box*.^{[12][13]} Pengukuran thrust dilakukan menggunakan sensor load cell dengan kapasitas maksimal pengukuran hingga 20 kg. Sensor ini ditempatkan sejajar dengan dudukan engine pada meja uji agar hasil pengukuran thrust engine yang didapat maksimal.

Gambar 13. Posisi *Load Cell* pada Meja Uji

Sensor tachometer diitunjukkan pada Gambar 14. sensor ini diletakkan di bagian pinggir dudukan engine test bed, sensor ini terhubung dengan PCB konektor 4 pin yang telah dibuat, dan dihubungkan lagi ke display box menggunakan kabel telpon.

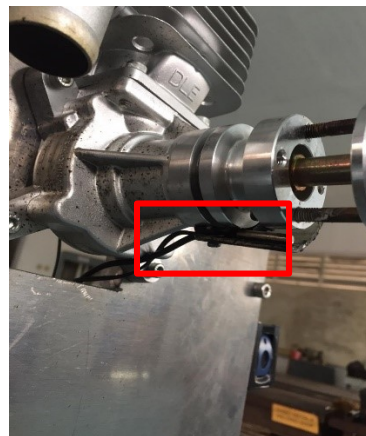


Gambar 14. Posisi Penempatan Sensor *Tachometer*

Thermostat diletakkan pada *engine fin* dan *spool propeller* yang dapat dilihat pada Gambar 15 dan 16. Penempatan *thermostat* pada *engine fin* dilakukan dengan menambahkan blok aluminium sehingga *thermostat* tidak berpindah dari posisi semula. Pada *spool propeller*, *thermostat* diletakkan pada bagian depan *spool* yang dekat dengan *propeller* menggunakan pipa letter U.



Gambar 15. *Thermostat* pada *engine fin*



Gambar 16. *Thermostat* pada *spool propeller*

Motor servo diletakkan pada blok aluminium yang dapat dilihat pada Gambar 17. Sensor ini terhubung dengan *push rod* yang berfungsi untuk menggerakkan tuas *engine* yang telah diatur pada sudut 0° sampai 180° .



Gambar 17. Penempatan *Motor servo* Mini

j. Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengujian diawali dengan menghidupkan *engine*, dengan cara memutar *propeller* secara manual searah jarum jam, bersamaan dengan mengatur potensiometer untuk menarik tuas *engine* yang terhubung dengan motor servo dan *push rod*. Kemudian, ketika *engine* menyala dilakukan pengamatan untuk mendapatkan nilai rpm, *thrust*, *temperatur spool propeller* dan *temperature engine fin* pada posisi *idle*, dan *full throttle*. Penelitian dilakukan dengan dua metode yaitu, pertama perhitungan secara teoritis menggunakan *Microsoft Excel* dengan memasukkan beberapa rumus yang akan dihitung, dan kedua melakukan pengujian statik. Perhitungan dengan *Microsoft Excel* dilakukan dengan membandingkan besarnya gaya dorong yang diperoleh pada saat pengujian. Pengujian dilakukan pada *propeller* dua bilah tipe kayu dengan ukuran masing-masing *propeller* 22 x 8 chord 5 cm dan 22 x 8 chord 4,5 cm. Nilai *thrust* yang terukur, dihitung dengan menggunakan *software* Static Thrust Calculator. *Software* ini digunakan untuk memvalidasi hasil pengukuran *thrust* antara sensor yang telah dirancang dengan Static Thrust Calculator. Perhitungan nilai *thrust* didasarkan pada spesifikasi dari *propeller* yang digunakan serta nilai rpm yang terukur.

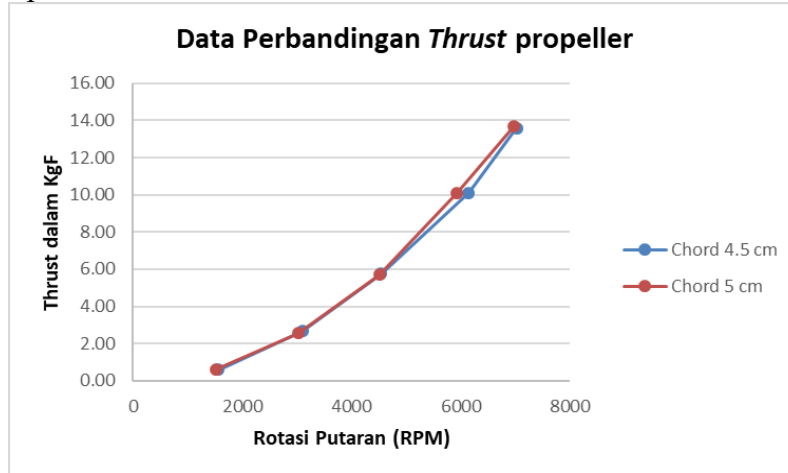


Gambar 18. Proses Percobaan Pengujian pada *Propeller Test Bench*

3. Hasil Dan Pembahasan

a. Hasil Pengujian *Propeller* Tipe Kayu 22 x 8 Chord 4,5 cm

Pengujian pada propeller tipe kayu 22 x 8 chord 4,5 cm dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Jika dibuat grafik perbandingan, maka akan terlihat perbedaan antara nilai *thrust* dengan rpm pada *propeller* tipe kayu chord 4,5 cm. Grafik perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 20.



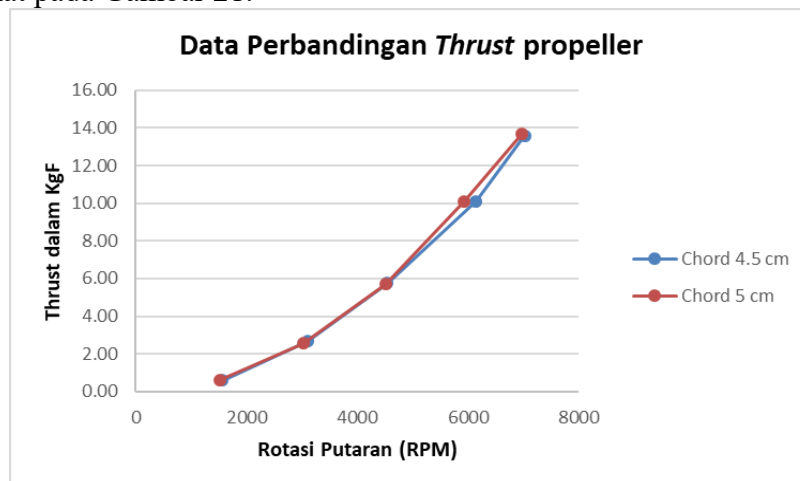
Gambar 20. Grafik Perbandingan *Thrust* dengan RPM pada Chord 4,5 cm

Berdasarkan grafik data perbandingan antara *thrust* dan rpm (Gambar 20), dapat diketahui bahwa sensor *tachometer laser* membaca nilai rpm dari *propeller* pada kecepatan minimum 1500 rpm menghasilkan nilai *thrust* sebesar 0,65 KgF, sedangkan pada kecepatan maksimum yaitu 7000 rpm mendapatkan nilai *thrust* sebesar 13,6 KgF berdasarkan rerata dari ketiga percobaan tersebut. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai rpm, *temperature spool propeller*, *temperature engine fin*, dan *thrust* dari engine DLE 55 cc *Single Cylinder Petrol*. Pengukuran rpm dilakukan menggunakan dua sensor yang terdiri dari sensor yang telah dirancang yaitu *tachometer* dan sensor yang berasal dari pabrik yaitu *GT Power Ignition*. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa, hasil pengukuran rpm oleh *GT Power* nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan sensor *tachometer* yang telah dirancang. Hal ini dipengaruhi oleh jarak pengukuran pada saat pengujian, karena berdasarkan spesifikasi *tachometer* yang digunakan jarak yang dianjurkan adalah 50 – 500 mm dan tidak melebihi dari spesifikasi tersebut. Adapun faktor lain yang menyebabkan perbedaan hasil pengukuran adalah, pemilihan laser dari *tachometer* yang disarankan dengan kualitas paling efisien dan dapat menembakkan cahaya laser dengan baik, sehingga pengukuran nilai rpm yang didapatkan lebih akurat. Kecepatan putar *propeller* (rpm) dapat mempengaruhi nilai dari *temperature* dan *thrust* yang akan diukur. Hubungan antara rpm dengan parameter yang lain adalah, semakin tinggi nilai rpm maka semakin tinggi nilai *temperature* dan juga *thrust* yang terukur selama pengujian. Pernyataan ini didukung dengan penelitian oleh Iriandi *et al.*, (2016) menyatakan bahwa besarnya jumlah rpm mempengaruhi kecepatan saat engine hidup, dimana semakin besar rpm maka semakin besar juga kecepatan *rate of vertical flight* yang dihasilkan. Selain itu, besarnya rpm juga mempengaruhi waktu yang dibutuhkan oleh pesawat untuk mencapai ketinggian, semakin besar rpm maka semakin cepat juga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian.

b. Hasil Pengujian *Propeller* Tipe Kayu 22 X 8 Chord 5 Cm

Perhitungan rata-rata juga dilakukan pada hasil pengujian *propeller* tipe kayu chord 5 cm. Hal ini dilakukan untuk memudahkan perbandingan hasil antara *propeller* chord 4,5 cm dan chord 5 cm. Jika dibuat grafik perbandingan, maka dapat diketahui perbedaan

antara nilai *thrust* dengan rpm pada *propeller* tipe kayu *chord* 5 cm. Grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 21.



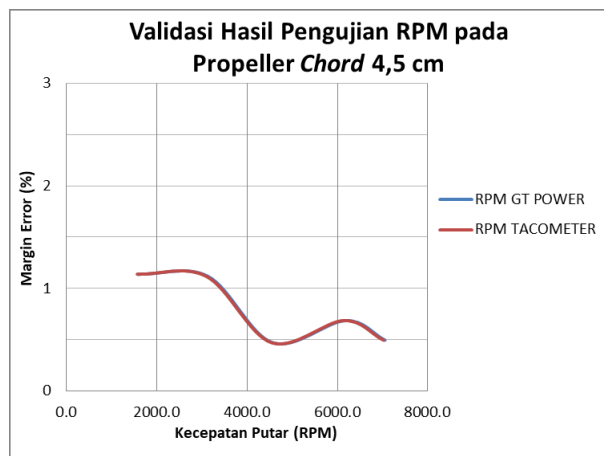
Gambar 21. Grafik Perbandingan *Thrust* dengan RPM pada *Chord* 5 cm

Pengujian *propeller* tipe kayu 22 x 8 *chord* 5 cm dan *chord* 4,5 cm dilakukan di Laboratorium Nurtanio. Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil perbandingan antara nilai *thrust* dengan rpm pada pengujian *propeller chord* 5 cm. Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa, pengukuran dengan kecepatan rpm minimum menghasilkan *thrust* sebesar 0,62 KgF, sedangkan pada rpm maksimum menghasilkan nilai *thrust* sebesar 13,70 KgF. Pengukuran nilai *thrust* dilakukan dengan menggunakan sensor *load cell* yang dipasang pada meja uji. Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu sensor *load cell* dikalibrasi menggunakan anak timbangan ukuran 1 Kg. Sensor *load cell* yang digunakan memiliki kapasitas 20 Kg. Sensor ini dipasang sejajar dengan kedudukan *engine* pada meja uji, agar hasil pengukuran *thrust engine* yang didapat maksimal. Hasil pengukuran dari *load cell* akan diolah oleh *amplifier* HX711 dan datanya diakuisisi oleh *mikrokontroler* Arduino UNO untuk diolah dan ditampilkan nilainya pada LCD. Berdasarkan hasil pengukuran *thrust* pada *chord* 4,5 cm menghasilkan nilai *thrust* maksimum sebesar 13,60 KgF. Sedangkan pada *propeller chord* 5 cm mendapatkan nilai *thrust* maksimum sebesar 13,70 KgF. Faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil pengukuran ini adalah karena perbedaan ukuran pada *airfoil propeller* tersebut, semakin besar ukuran *airfoil* tersebut maka semakin besar juga gaya dorong yang dihasilkan. Pernyataan ini didukung dengan hasil penelitian dari Priyanto (2009) yang menjelaskan bahwa, variabel yang berpengaruh terhadap pemilihan *propeller* yaitu rpm, *pitch*, dan kualitas bahan (impor) atau lokal. Selain itu juga disebabkan oleh diameter yang lebih pendek dan posisi angle tip *propeller* yang lebih kecil. Semakin besar duta *pitch (blade angle)* yaitu mulai 0° hingga 55° maka semakin besar pula *thrust* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa nilai *error* yang didapatkan pada sensor *load cell* untuk nilai *thrust* dengan *static thrust propeller* cukup rendah sehingga perlu dilakukan adanya pengembangan pada penelitian ini.

c. Validasi Hasil Pengujian RPM pada Propeller Chord 4,5 cm

Validasi yang dilakukan pada pengujian ini hanya pada parameter rpm dan *thrust* yang terukur. Nilai rpm divalidasi menggunakan hasil pengukuran dari GT *Power Ignition* terhadap hasil pengukuran rpm oleh *tachometer*. Perhitungan *margin error* dilakukan dengan menghitung selisih nilai antara data hasil pengukuran GT *power* dengan *tachometer*, dan dibagi dengan nilai GT *Power*. Semakin kecil nilai *margin error* yang didapatkan, maka akan semakin akurat pengujian yang dilakukan. Pengujian dikatakan

baik apabila nilai *margin error* yang didapatkan kurang dari 2%. Jika dibuat grafik perbandingan, maka akan terlihat perbedaan antara nilai *margin error* dengan rpm pada *propeller* tipe kayu *chord* 4,5 cm. Grafik perbandingan gaya dapat dilihat pada Gambar 22.

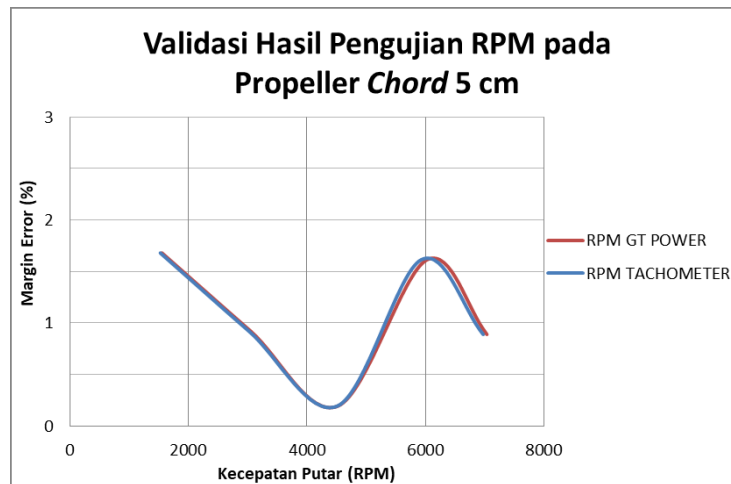


Gambar 22. Grafik *Margin error* Hasil Pengujian *Propeller Chord* 4,5 cm

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 22. dapat diketahui bahwa hasil pengukuran rpm oleh GT power maupun *tachometer* menghasilkan nilai yang hampir sama, sehingga kedua garisnya berhimpitan. Perhitungan *margin error* pada kecepatan minimum 1500 rpm menghasilkan *margin error* sebesar 1,139%, sedangkan pada kecepatan maksimum 7000 rpm menghasilkan *margin error* sebesar 0,495%. Nilai *margin error* terbesar terjadi pada kecepatan 1500, sedangkan nilai *margin error* terkecil terjadi pada titik *setting* 4500 yaitu 0,470%. Faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran ini adalah karena pemilihan laser dari *tachometer*. Kualitas laser yang baik akan menghasilkan data dengan nilai *error* yang kecil. Kualitas laser dapat diketahui dari pantulan cahaya dari *tachometer* yang berfungsi untuk mengukur rpm dari *propeller* ketika berputar. Dari rata rata *error* yang dihasilkan dapat diketahui bahwa, alat uji yaitu sistem sensor mempunyai akurasi yang baik, dikarenakan rata-rata *error* yang didapat kurang dari 2%.

d. Validasi Hasil Pengujian RPM pada Propeller Chord 5 cm

Validasi dilakukan pada hasil pengujian *propeller* tipe kayu *chord* 5 cm yang ditunjukkan pada Tabel 4.10. Validasi dilakukan pada nilai rpm yang terukur. Jika dibuat grafik perbandingan, maka akan terlihat perbedaan antara nilai *margin error* dengan rpm pada *propeller* tipe kayu *chord* 5 cm. Grafik perbandingan gaya dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Grafik *Margin error* Hasil Pengujian *Propeller Chord 5 cm*

Dari hasil perbandingan *error* pada alat ukur, dapat dilihat pada grafik Gambar 23. diketahui bahwa hasil pengukuran rpm oleh GT power dan tachometer pada propeller dengan chord 5 cm menghasilkan nilai yang hampir sama sehingga kedua garisnya berhimpitan. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa nilai *error* maksimum terjadi pada kecepatan 1500 rpm dengan nilai 1,679% dan minimum pada kecepatan 4500 rpm dengan nilai 0,191%. Dari pembacaan sensor rpm pada propeller tipe ini tidak jauh berbeda nilai rpm dengan tipe sebelumnya, hal ini disebabkan karena jarak pengukuran sensor dengan propeller tidak melebihi spesifikasi dari sensor tersebut. Nilai masing-masing dari kedua sensor tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk perbandingan menentukan rpm dari propeller tersebut. Validasi hasil pengujian pada propeller chord 4,5 cm menghasilkan nilai kesalahan maksimum pada rpm 1500 yaitu 1,139% dengan rata-rata *margin error* sebesar 0,782%. Hasil validasi untuk propeller chord 5 menunjukkan bahwa, *margin error* maksimum terjadi saat rpm bernilai 1500 yaitu sebesar 1,679%, dengan rata-rata kesalahan sebesar 1,058%. Dari rata rata *margin error* yang dihasilkan dapat diketahui bahwa, alat uji yaitu sistem sensor mempunyai akurasi yang baik, dikarenakan rata-rata *margin error* yang didapat kurang dari 2%. Perawatan dan pemilihan laser tachometer juga harus dilakukan dengan berkala untuk meningkatkan kemampuan pengukuran rpm oleh tachometer, sesuai dengan hasil penelitian oleh Enny (2019) yang mengatakan bahwa, alat tachometer laser dapat melakukan pengukuran dari jarak jauh yaitu bekerja dengan sensor cahaya yang sangat sensitif terhadap elemen berputar. Maka dari itu alat harus dirawat dan diperbaiki secara teratur untuk mendapatkan nilai dari setiap rpm yang akan diukur. Apabila terjadi kerusakan, kegiatan perawatan yang dilakukan adalah penggantian laser dari tachometer tersebut untuk mendapatkan cahaya laser yang baik dan untuk mengurangi *margin error* pada saat digunakan. Dengan adanya perawatan dan pemakaian yang tepat diharapkan bahwa alat tachometer laser agar dapat berfungsi dengan baik dalam waktu yang lama.

4. KESIMPULAN

Sistem sensor untuk pengukuran *propeller test bench* terdiri dari rangkaian Arduino UNO sebagai mikrokontroller, load cell sebagai sensor pengukur thrust, tachometer sebagai pengukur nilai rpm, dan thermostat sebagai pengukur temperatur dari engine fin dan spool propeller. Perbandingan pengukuran nilai thrust dengan static thrust calculator didapatkan hasil thrust pada propeller chord 4,5 cm thrust maksimum sebesar 13,60 KgF dan minimum sebesar 0.60 KgF sedangkan pada propeller chord 5 cm didapatkan hasil thrust maksimum sebesar 13,70 KgF dan minimum sebesar 0,62 KgF.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifin, S.R., Anggraeni D., Rahmadi A., Sumarna E., 2014. *Engine and Propeller Selection for Propulsion System LAPAN Surveillance UAV-05 using Static Thrust Calculation and Test*. Proceedings ISAST. Indonesia. Vol. 2: 41-50.
- [2] Fikri, M. A., Erwanto, D., dan Yuliana, D. E. 2018. Rancang Bangun Alat Prediksi Kondisi Tubuh Ideal Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Sugeno. Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer, Vol. 7 (1); 169 – 181.
- [3] Gustomo, B. 2015. Pengenalan Arduino Dan Pemrogramannya. Informatika Bandung, Bandung.
- [4] Harsoyo, I. T., Nugroho, A. K., dan Nuriman. 2019. Rancang Bangun Tachometer Digital Berbasis Arduino Dilengkapi *Charging* dan Mode Penyimpan Data. Elektrikal, Vol. 11 (2): 6-11.
- [5] Hilal, A., dan Manan, S. 2012. Pemanfaatan Motor Servo sebagai Penggerak CCTV untuk Melihat Alat-Alat Monitor dan Kondisi Pasien di Ruang ICU. Gema Teknologi, Vol. 12 (2).
- [6] Kadir, A. 2012. Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [7] Khakim, A. L. 2015. Rancang Bangun Alat Timbang Digital Berbasis AVR Tipe Atmega32. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- [8] Manege, P. M. N., Allo, E. K., dan Bahrin. 2017. Rancang Bangun Timbangan Digital dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis *Microcontroller* ATmega8535. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer Vol. 6 (1).
- [9] Nugraha, D. A. 2017. Timbangan Gantung Digital Dengan Sensor HX711 (*Load Cell*) Berbasis Arduino UNO. Universitas Sumatra Utara.
- [10] Rifan, M. 2016. Pembuatan Alat Uji *Propeller* (*Propeller Test Bench*). Skripsi Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto.
- [11] Saputra, M. dan Hakim, I. 2016. *Maintenance Propeller Hartzell* pada Pesawat Cessna 172. Jurnal Mekanova, Vol. 2 (3): 158- 166.
- [12] Setyadewi, I. T. dan Nugroho, Y. A. 2018. Analisis Pemilihan *Propeller* Mesin Pesawat Tanpa Awak LSU 03. Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 13 (1): 23-30.
- [13] Islami dan Hartono. 2020. Analisis Cara Kerja Sensor *Ultrasonic* dan Motor Servo menggunakan Mikrokontroler Arduino UNO untuk Pengusir Hama Disawah. Skripsi Universitas Bandar Lampung.