

Rancang Bangun Pengukur Kecepatan Angin Berbasis Arduino untuk Terowongan Angin Low Subsonic

Buyung Junaidin^{1*}), Anggraeni Kusumaningrum²⁾, Wisnu Prayogih³⁾, Yosep Reo⁴⁾

^{1,3)} Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

^{2,4)} Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

* email: buyung112011@gmail.com

Abstract

The wind speed gauge in a wind tunnel plays an important role in the airflow simulation process so that it is similar to the actual conditions as desired. Wind speed measurement in wind tunnel mostly use manometer with special fluid (red manometer fluid) and the resulting data is in the form of analog data. The red manometer fluid is unavailable in Indonesia and its price is quite expensive so it becomes a challenge for wind tunnels that still use manometer. Therefore, it is necessary to make a new instrument for measuring wind speed that is easy to use by utilizing materials that are easily obtained but still apply the same measurement principles as a manometer in measuring wind speed in wind tunnels. The design of the wind speed measuring device can take advantage of microcontroller technology. The wind speed sensor design process goes through three stages including hardware design, software design, and system design. The hardware used for the system are an Arduino Uno R3 microcontroller, a differential pressure sensor MPXV7002DP, and an LCD. Research results obtain a wind speed sensor that can be used to measure wind speed in a low subsonic wind tunnel based on Bernoulli's principle that utilizes a pitot tube with a maximum speed of 30m/s. The wind speed sensor is an Arduino-based design that can display the wind speed measurement results on the LCD screen. The wind speed sensor was declared valid to be used to measure wind speed because there were no deviations from the wind speed measurement when compared to the measurement results from a calibrated anemometer.

Keywords — Arduino Uno R3, MPXV7002DP sensor, Wind speed.

1. Pendahuluan

Terowongan angin merupakan alat yang digunakan di dalam penelitian bidang aerodinamika untuk mempelajari pengaruh pergerakan udara melewati benda padat. terowongan angin terdiri dari bagian-bagian tertutup yang salah satunya seksi uji dengan benda uji yang dipasang di tengah [1]. Terowongan angin adalah peralatan yang sangat penting untuk penelitian tentang aerodinamika, berupa aliran udara atau gas saat melewati benda uji seperti kendaraan, bangunan, turbin angin, dan lain-lain. Terowongan angin biasanya digunakan untuk mensimulasikan kondisi aliran udara yang melewati model uji [2,3]. Terowongan angin adalah fasilitas uji eksperimen yang paling banyak digunakan. Model skala pesawat atau komponen seperti sayap pesawat digunakan dalam pengujian terowongan angin di bidang penerbangan. Neraca gaya aerodinamika merupakan instrumen umum yang terdapat pada terowongan angin karena gaya dan momen merupakan parameter umum yang diukur dalam uji terowongan angin [4]. Selain itu, instrumen pendukung lain seperti pengukur kecepatan angin, temperatur dan tekanan merupakan kelengkapan yang wajib ada dalam pengujian terowongan angin. Pengukur kecepatan angin pada sebuah terowongan angin berperan penting dalam proses simulasi aliran udara sehingga mirip dengan kondisi sebenarnya sesuai yang diinginkan. Pengukur kecepatan angin di terowongan angin masih banyak menggunakan manometer dengan cairan khusus dan data yang dihasilkan berupa data analog. Cairan khusus untuk manometer (*red manometer*

fluid) di Indonesia sulit diperoleh serta harganya cukup mahal, sehingga menjadi kendala untuk terowongan angin yang masih menggunakan manometer. Oleh karena itu, perlu dibuat alat baru pengukur kecepatan angin yang mudah digunakan dengan memanfaatkan bahan yang mudah diperoleh namun tetap mengaplikasikan prinsip pengukuran yang sama dengan manometer dalam mengukur kecepatan angin di terowongan angin.

Terdapat beberapa jenis terowongan angin yang dibagi dalam dua katagori utama yaitu terowongan rangkaian terbuka dan rangkaian tertutup. Pada terowongan angin rangkaian terbuka tidak terjadi sirkulasi aliran udara namun aliran udara yang masuk terowongan angin berasal dari daerah terbuka dan keluar menuju daerah terbuka kembali. Berbeda dengan terowongan angin rangkaian terbuka, pada terowongan angin rangkaian tertutup terjadi sirkulasi aliran udara dengan sedikit atau tidak sama sekali pergantian udara dengan lingkungan luar [5]. Dalam penelitian ini, kategori terowongan anginnya adalah terowongan angin rangkaian terbuka dengan kecepatan low subsonic.

Dalam pengukuran kecepatan angin, tabung pitot statik biasa digunakan sebagai pengukur kecepatan sepanjang sumbu longitudinal pesawat terbang [6]. Tabung pitot mengukur kecepatan angin berdasarkan persamaan Bernoulli [7]. Pitot mengukur perbedaan antara tekanan total dengan tekanan statik atau yang dikenal dengan tekanan dinamik yang menggambarkan energi kinetik fluida persatuan volume.

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Alat pengukur kecepatan angin dikatakan baik jika memberikan hasil pengukuran yang akurat. Ada macam-macam jenis anemometer, yang paling umum adalah anemometer cup. Anemometer cup terdiri dari beberapa cup yang dipasang tetap pada sumbu pusat. jenis anemometer lainnya antara lain: *hot wire* yang mengukur perubahan temperatur dari kawat panas elektrik yang dilewati oleh angin, *pitot probes* yang menggunakan prinsip Bernoulli dan anemometer propeler yang menggunakan propeler untuk mengukur kecepatan angin [8]. Pembuatan alat pengukur kecepatan angin dapat memanfaatkan teknologi mikrokontroler. Sama halnya dengan sistem komputer, mikrokontroler mempunyai kemampuan untuk diprogram sesuai dengan kebutuhan pembuatan alat pengukur kecepatan angin [9].

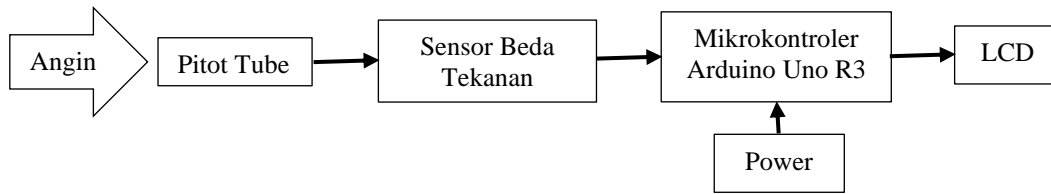
Alat pengukur kecepatan angin atau anemometer berbasis mikrokontroler Arduino sudah banyak dibuat dan dikembangkan dalam beberapa penelitian sebelumnya [1,4,8,9,10,11]. Namun anemometer yang dibuat lebih banyak berjenis anemometer cup yang mengadopsi prinsip pengukuran dengan memanfaatkan hubungan antara kecepatan sudut dengan kecepatan linier memanfaatkan sensor *optocoupler*, sehingga penggunaannya terbatas untuk keperluan tertentu. Untuk kebutuhan terowongan angin yang digunakan di bidang penerbangan khususnya aerodinamika, anemometer harus mengadopsi prinsip Bernoulli yang memanfaatkan tabung pitot. Tujuan utama dari penelitian ini adalah rancang bangun alat ukur kecepatan angin atau anemometer sebagai pengganti alat ukur yang sudah ada pada terowongan angin. Anemometer yang dibuat berbasis Arduino dengan memanfaatkan sensor tekanan yang dihubungkan dengan pitot tube yang mengadopsi prinsip Bernoulli.

2. Metode Penelitian

Proses rancang bangun sensor kecepatan angin melalui tiga tahapan meliputi: perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*) dan perancangan sistem.

2.1 Perancangan Perangkat Keras (*hardware*)

Sebelum dilakukan perancangan perangkat keras atau *hardware*, maka perlu diketahui dahulu konsep sistem yang akan dibangun sehingga kebutuhan perangkat keras dapat diketahui. Konsep sistem sensor kecepatan angin sesuai diagram blok pada Gambar 1.



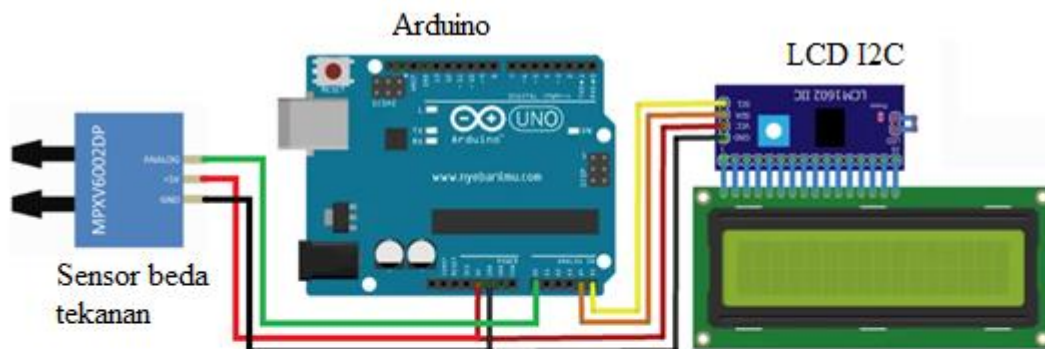
Gambar 1. Diagram blok sistem pengukur kecepatan angin

Penjelasan dari masing-masing blok yang digunakan menurut fungsi dan keterangannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penjelasan blok sistem pengukur kecepatan angin

Nama Blok	Fungsi
Pitot Tube	Memberi masukan beda tekanan ke <i>differential pressure sensor</i>
Sensor Beda Tekanan	Menghasilkan sinyal analog
Mikrokontroler Arduino Uno R3	Basis pengolahan data masukan menggunakan bahasa pemrograman Arduino
LCD 16x2	Menampilkan data kecepatan angin hasil pengolahan mikrokontroler
Power	Sumber power untuk mikrokontroler

Dari diagram blok pada Gambar 1 dapat diketahui kebutuhan perangkat keras untuk sistem meliputi: mikrokontroler Arduino, sensor beda tekanan, dan LCD. Sedangkan tabung pitot tidak termasuk perangkat keras karena tidak berhubungan langsung dengan proses sistem. Ilustrasi rangkaian perangkat keras yang akan digunakan untuk sensor kecepatan angin sesuai dengan Gambar 2.

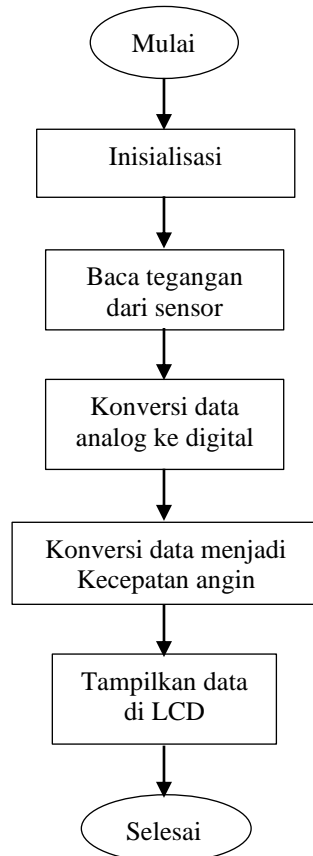


Keterangan:
 Sensor beda tekanan (menghasilkan sinyal analog)
 pin analog (hijau), pin daya +5V (merah), pin ground GND (hitam)
 Arduino (mengolah data analog menjadi digital dan konversi menjadi nilai kecepatan)
 pin analog A0 (hijau), pin analog A4 (coklat), pin analog A5 (kuning),
 pin daya 5V (merah), pin ground GND (hitam)
 LCD I2C (menampilkan nilai kecepatan)
 pin SDA (coklat), pin SCL (kuning), pin daya VCC (merah),
 pin ground GND (hitam)

Gambar 2. Ilustrasi rangkaian perangkat keras sensor kecepatan angin

2.2 Perancangan Perangkat Lunak (*software*).

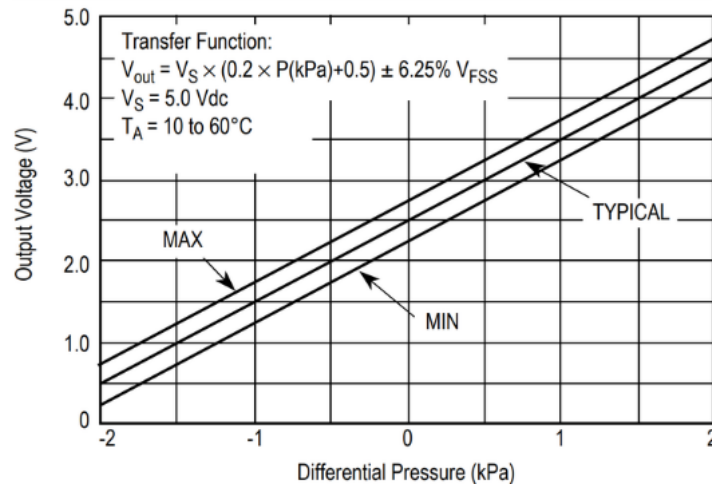
Sintak bahasa pemrograman Arduino mirip dengan pemrograman C++. Perangkat lunak dari sistem yang dirancang menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang dikenal mudah dan singkat. Pemrograman dilakukan untuk mengatur fungsi sistem untuk mengukur kecepatan angin. Perintah yang ditanamkan ke mikrokontroler berupa pembacaan sensor beda tekanan, sedangkan data kecepatan angin ditampilkan pada layar LCD. *Software* yang telah dirancang memiliki alir sesuai Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir perangkat lunak sistem

2.3 Perancangan Sistem

Alat pengukur kecepatan angin yang dirancang mampu mengukur kecepatan angin yang melalui terowongan angin dengan kecepatan maksimal 30m/s. Pengukuran menggunakan tabung pitot yang terpasang pada terowongan angin yang terhubung dengan sensor beda tekanan. Tabung pitot yang dilalui aliran udara akan meneruskan informasi tekanan aliran dari jalur statik dan total pitot ke masukan sensor. Sensor MPXV7002DP adalah sebuah sensor yang menunjukkan hubungan antara kedua masukannya (statik dan total) dalam bentuk perbedaan tekanan. Sensor menghasilkan tegangan keluaran sebagai data analog yang mewakili nilai beda tekanan dari pengukuran pitot. Hubungan kalibrasi antara tegangan keluaran dari sensor MPXV7002DP dan beda tekanan diperoleh dari data pabrik sensor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan beda tekanan

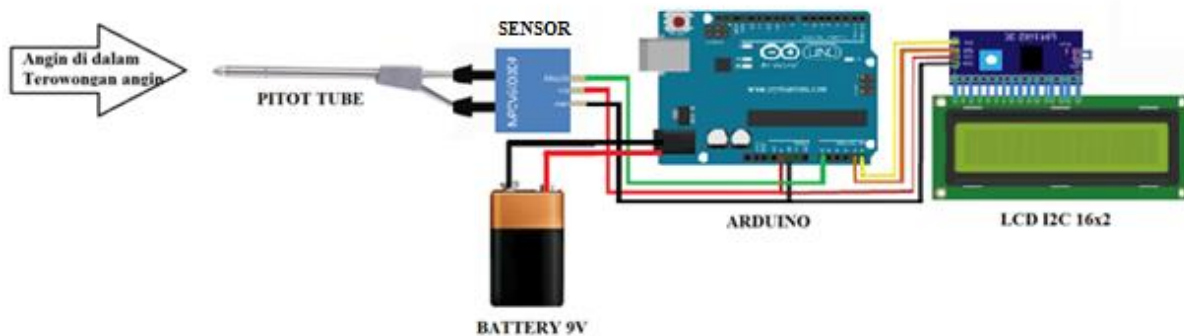
Dari grafik hubungan antara beda tekanan dengan tegangan keluaran sensor pada Gambar 4 dapat dibuat persamaan sesuai dengan Persamaan (1).

$$V_r = \frac{V_s}{5} \Delta P + \frac{V_s}{2} \tag{1}$$

Di mana V_r adalah tegangan keluaran sensor, V_s adalah tegangan sumber dan ΔP adalah beda tekanan. Tegangan keluaran sensor akan menjadi tegangan terbaca oleh mikrokontroler sebagai masukan analog yang kemudian dikonversi menjadi digital oleh *analog-to-digital converter* (ADC) dan dikonversi lagi menjadi nilai kecepatan dengan Persamaan (2).

$$v = \sqrt{\frac{10000 \cdot \left(\frac{R}{2^{10}-1} - 0,5\right)}{\rho}} \tag{2}$$

Di mana v adalah kecepatan dalam m/s, ρ adalah kerapatan udara sesuai elevasi daerah tempat pengukuran dalam satuan kg/m^3 dan R adalah data digital hasil konversi ADC. Nilai kecepatan hasil perhitungan sesuai Persamaan 2 ditampilkan pada LCD. Skema sistem yang dirancang sesuai dengan Gambar 5.



Gambar 5. Skema rangkaian sistem sensor kecepatan angin

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan proses perancangan sistem selanjutnya dilakukan proses pengujian mengetahui kinerja alat pengukur kecepatan angin yang dibangun.

3.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem atau pengukur kecepatan angin yang telah dibuat dilakukan pada terowongan angin *low subsonic* sesuai Gambar 6a. Pada saat pengukuran kecepatan angin dilakukan variasi nilai frekuensi inverter sehingga terbaca nilai kecepatan tertentu yang ditentukan pada LCD yang kemudian digunakan untuk keperluan data pembandingan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur pabrikan terkalibrasi. Contoh tampilan LCD pada pengukur kecepatan angin seperti pada Gambar 6b.

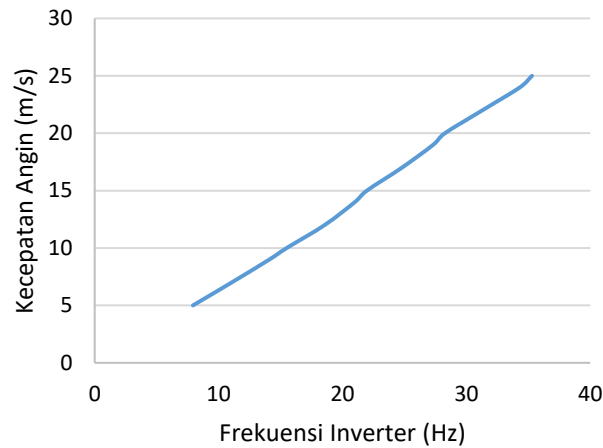


Gambar 6a. Terowongan angin low subsonic



Gambar 6b. Contoh pembacaan kecepatan angin pada LCD

Penentuan nilai kecepatan angin berdasarkan kebutuhan operasional terowongan angin *low subsonic* dengan batasan minimum dan maksimum kecepatan masing-masing adalah 5m/s sampai dengan 25 m/s, meskipun pengukur kecepatan angin yang dibuat mampu mengukur kecepatan angin hingga 50 m/s. Hasil pengujian sensor kecepatan angin yang telah dibuat sesuai pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengujian sensor kecepatan angin

Hasil pengujian pada Gambar 7 menunjukkan nilai frekuensi inverter berbanding lurus terhadap nilai kecepatan angin yang dihasilkan dari terowongan angin, hal ini dikarenakan frekuensi inverter mempengaruhi besar daya yang masuk ke motor fan terowongan angin yang berfungsi menghasilkan aliran udara di dalam terowongan angin. Semakin besar nilai frekuensi inverter menghasilkan masukan daya yang semakin besar untuk motor fan sehingga putaran motor makin kuat dan aliran udara di dalam terowongan angin makin cepat.

3.2 Perbandingan Hasil Pengujian Rancangan dengan Hasil Alat Pabrik

Pengukur kecepatan angin hasil rancang bangun perlu divalidasi hasil pengukurannya dengan membandingkan dengan hasil pengukuran dari alat ukur yang sudah terkalibrasi untuk melihat penyimpangan pembacaan sensor yang dibuat. Alat ukur komersial dari pabrik sudah melalui proses kalibrasi sehingga dapat digunakan sebagai rujukan validasi. Anemometer yang digunakan sebagai pembanding adalah anemometer jenis propeler/fan UT 363 dari UNI-T. Perbandingan hasil pengujian disajikan dengan mengatur nilai frekuensi inverter pada pengujian sensor yang dibuat sesuai dengan nilai frekuensi pada pengujian anemometer terkalibrasi untuk nilai kecepatan yang dibandingkan. Hasil perbandingan dan nilai penyimpangan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengujian sensor yang dibuat dengan anemometer terkalibrasi

Frekuensi inverter (Hz)	Kecepatan angin hasil anemometer terkalibrasi (m/s)	Kecepatan angin hasil pengukuran (m/s)	Penyimpangan (m/s)
7.93	5	5	0
11.06	7	7	0
14.1	9	9	0
15.5	10	10	0
18.56	12	12	0
21	14	14	0
21.97	15	15	0
24.8	17	17	0
27.33	19	19	0
28.27	20	20	0
31.3	22	22	0
34.33	24	24	0
35.3	25	25	0

Dari hasil perbandingan pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa sensor kecepatan angin yang dirancang bangun untuk terowongan angin *low subsonic* sudah valid untuk digunakan mengukur kecepatan angin karena tidak terjadi penyimpangan pengukuran kecepatan angin jika dibandingkan hasil pengukuran dari anemometer pabrikan yang sudah terkalibrasi. Tidak terjadi penyimpangan pembacaan dari pengukur kecepatan angin hasil rancangan diperoleh dari ketepatan dalam penetapan nilai parameter kerapatan udara acuan dalam persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan angin. Nilai kerapatan udara yang digunakan berdasarkan kalibrasi elevasi daerah pengujian dan kondisi lingkungan pengujian berupa temperatur dan tekanan. Hal ini menjadi kelebihan sekaligus kekurangan dari alat ukur yang dirancang karena nilai kecepatan yang terbaca merupakan hasil yang sudah memperhitungkan pengaruh lingkungan pengukuran sehingga lebih akurat, akan tetapi jika ada perubahan elevasi tempat pengukuran, maka nilai parameter kerapatan udara harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan tempat pengukuran. Selain itu, faktor akurasi dari konversi nilai beda tekanan dari pitot menjadi tegangan keluaran sensor sesuai dengan referensi manufaktur sensor.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian diperoleh sebuah pengukur kecepatan angin yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan angin pada terowongan angin *low subsonic* berdasarkan prinsip Bernoulli dengan memanfaatkan pitot tube. Pengukur kecepatan angin hasil rancang bangun berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dapat menampilkan hasil pengukuran kecepatan angin pada layar LCD dalam satuan m/s. Sensor kecepatan angin dinyatakan sudah valid untuk dapat digunakan mengukur kecepatan angin karena tidak terjadi penyimpangan pengukuran kecepatan angin jika dibandingkan hasil pengukuran dari anemometer yang sudah terkalibrasi. Penyimpangan tidak terjadi karena penetapan nilai parameter kerapatan udara acuan dalam persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan angin sudah tepat. Selain itu, konversi nilai beda tekanan dari pitot menjadi tegangan keluaran sensor sudah akurat sesuai dengan referensi manufaktur sensor.

Referensi

- [1] Haryanti, M., & Awaludin, M. (2019). Rancangan Sensor Kecepatan Angin Pada Wind Tunnel. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 21(1), 44-49.
- [2] Erwin, E., Soemardi, T. P., Surjosatyo, A., Nugroho, Y. S., Nugraha, K., & Andayani, R. D. (2019, April). Analysis of near wake recovery scale model vawt hybrid wind turbin in wind tunnel. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 508, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- [3] Handayani, S. U. (2014). Pengembangan dan analisa keseragaman aliran terowongan angin tipe terbuka sebagai sarana pengujian aerodinamika. *Prosiding PNES II 2014*, A-309.
- [4] Andr´e Filipe Rocha Oliveira. (2020). Design, Construction, Calibration and Testing of a Wind Tunnel Force Balance. *Theses*, Instituto Superior T´ecnico, Universidade de Lisboa, Portugal.
- [5] Barlow, J. B., Rae, W. H., & Pope, A. (1999). *Low-speed wind tunnel testing*. John Wiley & sons.
- [6] Simmons, M., Montalvo, C., & Kimball, S. (2019). Wind Tunnel Tests of a Pitot-Static Tube Array to Estimate Wind Velocity. *arXiv preprint arXiv:1901.10600*.
- [7] Tavoularis, S. (2005). *Measurement in fluid mechanics*. Cambridge University Press.
- [8] Avallone, E., Mioralli, P. C., Natividade, P. S. G., Palota, P. H., da Costa, J. F., Antonio, J. R., & Junior, S. A. V. (2019). An inexpensive anemometer using Arduino board. *Facta Universitatis. Series: Electronics and Energetics*, 32(3), 359-368.

- [9] Derek, O., Allo, E. K., & Tulung, N. M. (2016). Rancang bangun alat monitoring kecepatan angin dengan koneksi wireless menggunakan arduino uno. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 5(4), 1-7.
- [10] Oktaviana, V., Al Hakim, Y., & Pratiwi, U. (2019). Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Aliran Udara Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran Fisika. *EDUSAINTEK*, 3.
- [11] Prabowo, R., Muid, A., & Adriat, R. (2018). Rancang Bangun Alat Pengukur Kecepatan Angin. *Prisma Fisika*, 6(2), 94-100.