

Rancang Bangun dan Pengembangan *Shuttlecock Balancing Tester* Dengan menggunakan *Cooling Fan 120 mm*

Nur Aidi Ariyanto^{1*}, Andre Budhi Hendrawan²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Harapan Bersama

^{1,2}Jl. Mataram No.9 Pesurungan Lor, Kota Tegal, 52147, Indonesia

E-mail: nuraidi.ariyanto@gmail.com¹, andrebudhih@gmail.com²

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Januari 2024

Direvisi: 6 Juli 2024

Diterima: 31 Juli 2024

Abstrak

Bulu tangkis merupakan olahraga yang populer di dunia, terutama di negara-negara seperti Indonesia, Malaysia, Cina, dan banyak negara Eropa. Salah satu elemen penting dalam bulu tangkis adalah *shuttlecock*, yang digunakan sebagai bola permainan. Keseimbangan *shuttlecock* adalah faktor kritis yang mempengaruhi kinerja pemain. Keseimbangan *shuttlecock* mengacu pada distribusi beratnya yang harus diatur sedemikian rupa sehingga *shuttlecock* dapat terbang secara stabil dan dapat diprediksi dalam permainan. Kerapatan bentuk pada *shuttlecock* bulu atau pun *shuttlecock* sintesis juga mempengaruhi pergerakan *shuttlecock* dan menghasilkan nilai *drag force* yang berbeda. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan dalam pengujian keseimbangan *shuttlecock* seperti metode dilempar secara vertikal, metode dipukul secara manual atau pun menggunakan mesin pelontar. Kedua metode tersebut memperlihatkan secara langsung pergerakan *shuttlecock* sehingga akan terlihat pergerakannya yang seimbang atau tidak seimbang, namun metode ini memerlukan area yang cukup luas. Metode yang lebih sederhana yaitu menggunakan alat *shuttlecock balancing tester* (SBT), namun alat yang ada saat ini memiliki suara yang bising, dimensi yang cukup besar sehingga tidak praktis. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan SBT yang sudah ada dengan suara yang tidak berisik, dimensi yang lebih kecil dan lebih praktis dengan menggunakan kipas pendingin 120 mm. Kajian dilakukan untuk mengetahui kecepatan aliran udara yang dibutuhkan dan ukuran lobang *honeycomb* yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan aliran udara yang dibutuhkan pada alat uji keseimbangan *shuttlecock* agar *shuttlecock* terangkat/melayang dan berputar stabil yaitu 5,0 m/s dengan menggunakan lobang *honeycomb* berdiameter 6 mm, dan 4,6 m/s dengan menggunakan lobang *honeycomb* berdiameter 8 mm. Dengan menggunakan *honeycomb* 8 mm menghasilkan aliran udara dengan gaya angkat yang lebih besar dari pada menggunakan *honeycomb* 6 mm.

Abstract

Badminton is a popular sport in the world, especially in countries such as Indonesia, Malaysia, China and many European countries. One of the important elements in badminton is the shuttlecock, which is used as a game ball. The shape density of feather shuttlecocks or synthetic shuttlecocks also affects the movement of the shuttlecock and produces different drag force values. Several methods can be used to test the balance of a shuttlecock, such as a method of throwing it vertically, the method of hitting it manually or using a throwing machine. Both methods show the movement of the shuttlecock directly so that it can be seen whether its movement is balanced or unbalanced, but this method requires a fairly large area. A simpler method is to use a shuttlecock balancing tester (SBT), but the current equipment is noisy and has quite large dimensions so it is not practical. This research aims to develop an existing SBT with less noise, smaller sizes, and more practicality by using a 120 mm cooling fan. The study was carried out to determine the required air flow speed and the correct size of the honeycomb hole. The results of the research show that the airflow speed required in the SBT so that the shuttlecock lifts per floats and rotates stably is 5.0 m/s using a honeycomb hole with a diameter of 6 mm and 4.6 m/s using a honeycomb hole with a diameter of 8 mm . Using 8 mm honeycomb produces air flow with a greater lifting force than using 6 mm honeycomb.

Keywords:

shuttlecock;

balancing;

honeycomb;

badminton;

aerodynamic

*Penulis korespondensi:

Nur Aidi Ariyanto

E-mail: nuraidi.ariyanto@gmail.com

1. Pendahuluan

Bulu tangkis adalah salah satu olahraga yang sangat populer di seluruh dunia, terutama di negara-negara seperti Indonesia, Malaysia, Cina, dan banyak negara Eropa. Olahraga ini memerlukan kombinasi keterampilan, daya tahan fisik, dan reaksi cepat. Salah satu elemen penting dalam bulu tangkis adalah penggunaan *shuttlecock*, yang digunakan sebagai bola permainan. *Shuttlecock* ini harus memiliki keseimbangan yang tepat untuk memastikan permainan yang adil dan kompetitif [1]. Keseimbangan *shuttlecock* adalah faktor kritis yang mempengaruhi performa pemain bulu tangkis. Keseimbangan *shuttlecock* mengacu pada distribusi beratnya, yang harus diatur sedemikian rupa sehingga *shuttlecock* dapat terbang secara stabil dan dapat diprediksi dalam permainan. Keseimbangan yang tepat akan memungkinkan pemain untuk mengembangkan keterampilan teknis mereka dengan baik, seperti pukulan *overhead*, *backhand*, dan *smashes* [2].

Shuttlecock yang digunakan dalam pertandingan profesional telah diatur dan disetujui oleh badan pengatur bulu tangkis, seperti Federasi Bulu Tangkis Dunia [3], masih ada tantangan dalam memastikan keseimbangan *shuttlecock* yang konsisten. Oleh karena itu, penelitian tentang alat uji keseimbangan *shuttlecock* sangat penting dalam pengembangan olahraga bulu tangkis. Berdasarkan aturan resmi *Batminton Word Federation* (BWF) [4] bahwa jumlah bulu pada *shuttlecock* yaitu 16 bulu yang melingkar dan tertancap pada bagian dasar berupa gabus. Diameter *shuttlecock* sekitar 25-28 milimeter, panjang tiap helai bulu yaitu 62-70 mm. Adapun berat *shuttlecock* yaitu sekitar 4,75 - 5,5 gram. Selain itu, lingkaran pada bagian ujung bulu harus berada pada kisaran ukuran 58 - 68 mm.

Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan kualitas *shuttlecock*, salah satunya dengan program Six Sigma dengan menggunakan metode DMAIC (*Define Measure Analyze Improve Control*). Dari hasil penelitian Sulistiyani dan Sari, (2021) pada suatu produsen *shuttlecock*, kualitas produknya memiliki nilai *sigma* 3,69 dimana persentasi produk cacat sebesar 4,31% dengan jenis kerusakan yaitu Batang Bulu Rusak (BBR), Penjahitan Antar Bulu Lepas (PABL), Keseimbangan Laju *Shuttlecock* Goyah (KLSG) [5][6]. Upaya peningkatan produk *shuttlecock* juga dilakukan dengan menggunakan alat penancap bulu. Susanto (2022) melakukan penelitian terkait kinerja mesin penancap bulu *shuttlecock* semi otomatis. Dengan melakukan analisis data uji ANOVA menggunakan aplikasi SPSS. Hasil uji menyatakan bahwa signifikansi hasil tes Non Parametrik Mann Whitney bernilai kurang dari 0,05 yang berarti terdapat perbedaan pada kelompok kontrol dan kelompok pencoba [7].

Upaya lain dalam peningkatan produk *shuttlecock* dengan melakukan pengujian keseimbangan, salah satu caranya yaitu uji terbang *shuttlecock* yang biasanya dilakukan secara manual oleh pekerja, namun bisa juga dilakukan menggunakan mesin pelontar. Rusdiawan, dkk, (2023) telah melakukan penelitian berupa desain pelontar *shuttlecock* secara otomatis yang dikendalikan dengan remote control [8] [9]. Selain dengan cara dipukul, pengujian keseimbangan (*balancing*) pada proses produksi dapat dilakukan secara manual dengan dilemparkan vertikal

ke atas. Ada juga yang menggunakan alat uji keseimbangan yaitu *shuttlecock balancing tester* (SBT) sederhana yang dibuat sendiri dengan suara yang berisik, dimensi yang cukup besar sehingga kurang praktis.



Gambar 1. SBT sederhana milik UMKM

Kemampuan aerodinamis pada bulu *shuttlecock* mempengaruhi kualitas, gaya angkat dan putaran *shuttlecock* saat terbang di udara [10]. Hasil penelitian Mehta, (2023) menunjukkan *shuttlecock* berbahan bulu dan berbahan sintetis memiliki performa yang berbeda. Alam dkk (2015) melakukan penelitian pada *shuttlecock* berbahan bulu dan *shuttlecock* sintetis dengan kondisi kerapatan bulu normal dan kondisi kerapatan yang dimodifikasi. Kondisi bulu yang rapat dan juga kerapatan pemasangannya mempengaruhi nilai *drag force* *shuttlecock*. Modifikasi kerapatan bulu dapat mengurangi nilai *drag force* dari 0,5 hingga 0,3 [11][12]. Cao dkk (2014) membuat suatu simulasi pergerakan *shuttlecock* dalam sebuah *wind tunnel* untuk melihat karakteristik putaran pada *shuttlecock* dengan mengasumsikan dua jenis momen yaitu momen arah pergerakan *shuttlecock* yang bergantung pada arah dan kecepatan angin, dan momen hambatan yang bergantung pada kecepatan putaran *shuttlecock* [13].

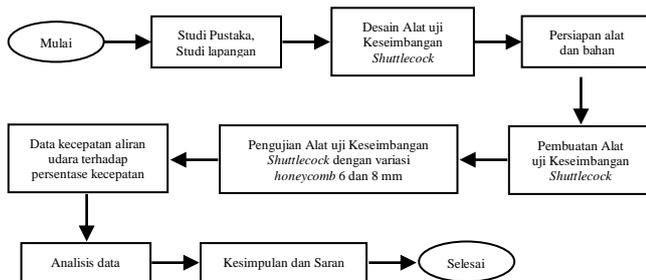
Produsen *shuttlecock* harus memastikan bahwa setiap *shuttlecock* yang mereka hasilkan memenuhi standar keseimbangan yang baik. Hal ini akan memungkinkan pemain bulu tangkis untuk berlatih dan bersaing dengan *shuttlecock* yang memiliki keseimbangan yang konsisten, sehingga meminimalkan variabilitas dalam permainan, untuk itu diperlukan SBT di beberapa tahapan pembuatan *shuttlecock* [14].

Beberapa metode pengujian keseimbangan *shuttlecock* telah dilakukan dan memiliki kelebihan dan kekurangan seperti penggunaan metode pukul langsung atau pun menggunakan mesin pelontar memperlihatkan secara langsung gerakan *shuttlecock* di udara sehingga akan terlihat seimbang atau tidaknya pergerakan tersebut, namun metode ini memerlukan alat yang cukup besar dan area yang luas. Hal yang lebih sederhana yaitu menggunakan alat SBT, namun perlu adanya pengembangan dari alat SBT yang sudah ada. Penelitian ini bertujuan untuk

mengembangkan SBT yang lebih baik dimana dimensinya lebih kecil, tingkat kebisingan yang lebih rendah, lebih praktis dan dengan biaya yang terjangkau.

2. Metode

Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan bentuk alat uji keseimbangan *shuttlecock* dengan menggunakan kipas pendingin dan kontrol kecepatan kipas yang lebih baik, dengan pengaturan kecepatan putaran kipas dari kondisi diam hingga kecepatan 100% maksimal. Variasi kondisi alat uji dilakukan yaitu dengan menggunakan ukuran *honeycomb* aliran udara berdiameter 6 mm dan 8 mm untuk mengetahuiS ukuran *honeycomb* berapa yang paling baik untuk digunakan.



Gambar 2. Alur penelitian

Studi lapangan dilakukan dengan melakukan survei ke UMKM produksi *shuttlecock* yang memiliki alat uji keseimbangan. Mengamati dan membuat desain modifikasi dari alat yang ada. Membuat desain alat uji keseimbangan *shuttlecock* yaitu berupa boks kayu dengan ukuran 200 x 400 x 150 mm. Di dalam boks tersebut akan ditempatkan beberapa komponen dengan rincian alat dan bahan sebagai berikut:

2.1. Alat

Alat yang akan digunakan dalam pembuatan SBT yaitu Gergaji kayu, Obeng, Gunting, Mesin bor tangan, Anemometer seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Digital Anemometer

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan SBT yaitu Boks kayu ukuran 200 x 400 x 150 mm, Cooling fan 12 VDC 3,4 A, Power supply 12 VDC 10 A, Motor Governor / speed controller, Pipa PVC 4", Pipa plastik transparan 4", Saklar dan kabel-kabel, dan Sedotan berdiameter 6mm dan 8mm.



Gambar 4. Boks kayu, cooling fan



Gambar 5. Power supply 12V 10A, speed controller



Gambar 6 Pipa PVC 4", pipa transparan 4" (id=110mm)



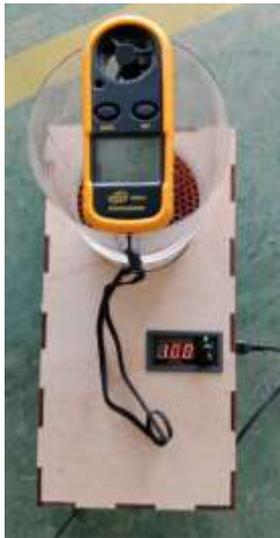
Gambar 7. Saklar dan kabel



Gambar 8. Sedotan 6 mm dan 8 mm

Pengambilan data dilakukan dengan menempatkan seluruh bahan di dalam boks, menempatkan sedotan yang sudah di potong-potong dengan panjang sekitar 50 mm ke dalam pipa PVC, menempatkan pipa PVC dan pipa

transparan di atas *cooling fan*, menempatkan anemometer di atas pipa transparan, seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Proses pengujian SBT

Pengambilan data pertama dilakukan dengan menggunakan *honeycomb* berdiameter 6 mm. Data diambil dengan mengatur kecepatan *cooling fan* pada pengaturan 100%, 90%, 80% dan seterusnya hingga *cooling fan* tidak bergerak.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Kecepatan Aliran Udara SBT

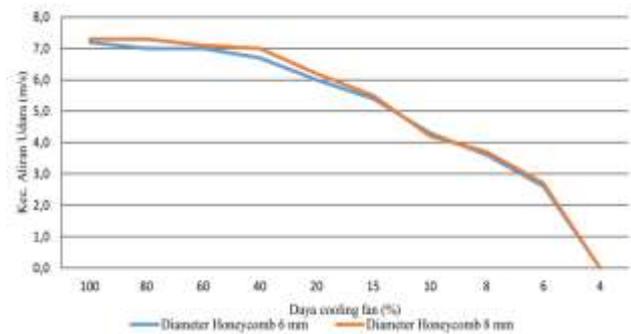
Pengujian kecepatan aliran udara SBT dengan menggunakan *honeycomb* dari sedotan berdiameter 6 mm dan 8 mm, dihasilkan data kecepatan aliran udara sebagai berikut:

Tabel 1. Kecepatan aliran udara SBT dengan *honeycomb* 6 dan 8 mm

Daya cooling fan (%)	Kecepatan aliran udara (m/s)	
	Diameter Honeycomb 6 mm	Diameter Honeycomb 8 mm
100	7,2	7,3
90	7,1	7,3
80	7,0	7,3
70	7,0	7,2
60	7,0	7,1
50	6,9	7,0
45	6,8	7,0
40	6,7	7,0
35	6,7	6,9
30	6,5	6,8
25	6,4	6,6
20	6,0	6,2
19	5,9	6,0
18	5,8	5,8
17	5,7	5,7
16	5,6	5,6
15	5,4	5,5
14	5,2	5,3
13	5,0	5,2
12	4,9	4,9
11	4,7	4,6
10	4,3	4,2
9	3,9	4,0

Daya cooling fan (%)	Kecepatan aliran udara (m/s)	
	Diameter Honeycomb 6 mm	Diameter Honeycomb 8 mm
8	3,6	3,7
7	3,1	3,2
6	2,6	2,7
5	1,6	1,5
4	0,0	0,0

Dari data di Tabel 1. didapatkan bahwa kecepatan aliran udara yang dapat dihasilkan oleh SBT yaitu kecepatan maksimal 7,2 m/s, kecepatan minimal 1,6 m/s saat menggunakan *honeycomb* 6 mm, dan kecepatan maksimal 7,3 m/s, kecepatan minimal 1,5 m/s saat menggunakan *honeycomb* 8 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa menggunakan *honeycomb* 8 mm dihasilkan kecepatan maksimal yang lebih tinggi dan kecepatan minimal yang lebih rendah. Tren kecepatan aliran udara terhadap daya *cooling fan* terlihat juga pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik kecepatan aliran udara pada SBT terhadap daya *cooling fan*

3.2. Pengujian SBT Menggunakan *shuttlecock*

Pengujian SBT selanjutnya yaitu dengan menggunakan *shuttlecock*, untuk mengetahui pada kekuatan *cooling fan* berapa persen *shuttlecock* tersebut melayang dengan baik dimana *shuttlecock* naik, tidak menempel bagian *honeycomb*, berputar dengan stabil dengan tidak menyentuh lingkaran pipa atau pun keluar dari lingkaran pipa PVC 4". Pengujian ini juga dilakukan pada SBT menggunakan *honeycomb* 6mm dan 8mm.



Gambar 11. Pengujian SBT dengan *honeycomb* 6 mm dengan daya *cooling fan* 10%, 12%, 13% dan 14%



Gambar 12. Pengujian SBT dengan *honeycomb* 8 mm dengan daya *cooling fan* 10%, 11%, 12% dan 13%

Dari Gambar 11. dimana SBT menggunakan *honeycomb* 6 mm, terlihat *shuttlecock* belum melayang pada daya *cooling fan* 10%, *shuttlecock* mulai naik pada daya *cooling fan* 12%, *shuttlecock* melayang dengan baik pada daya *cooling fan* 13%, *shuttlecock* mulai melayang naik melebihi pipa transparan pada daya *cooling fan* 14%. Maka daya *cooling fan* yang optimal untuk digunakan dalam pengujian *shuttlecock* menggunakan SBT dengan *honeycomb* 6 mm yaitu pada daya *cooling fan* 13% dimana kecepatan aliran udaranya adalah 5,0 m/s.

Dari Gambar 12. dimana SBT menggunakan *honeycomb* 8 mm, terlihat *shuttlecock* mulai bergerak pada daya *cooling fan* 10%, *shuttlecock* melayang dengan baik pada daya *cooling fan* 11%, *shuttlecock* mulai melayang naik melewati pipa transparan pada daya *cooling fan* 12%, *shuttlecock* melayang naik melebihi pipa transparan pada daya *cooling fan* 13%. Maka daya *cooling fan* yang optimal untuk digunakan dalam pengujian *shuttlecock* menggunakan SBT dengan *honeycomb* 8 mm yaitu pada daya *cooling fan* 11% dimana kecepatan aliran udaranya adalah 4,6 m/s.

Secara teoritis, besarnya gaya angkat aliran udara terhadap benda yang diangkat hingga melayang memiliki besaran yang lebih besar dibandingkan gaya berat benda tersebut [15]. Dengan berat *shuttlecock* lebih kurang 5,5 gram dan melayang di dalam pipa berdiameter 11 cm maka gaya angkat aliran udara dapat dihitung. Dimana perhitungan gaya angkat mengacu pada persamaan (1).

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_L \quad (1)$$

Dimana

L = gaya angkat (N)

ρ = densitas udara (kg/m³)

v = kecepatan udara relatif (m/s)

A = area referensi (m²)

CL = koefisien lift (tanpa satuan)

Dengan memperhatikan parameter percobaan di atas yaitu densitas udara 1,225 kg/m³, kecepatan aliran udara 5 m/s pada *honeycomb* berdiameter 6 mm, area pipa pvc 4" memiliki diameter 11 cm maka luasan areanya 9,5 x 10⁻³ m², dan nilai koefisien lift sekitar 0,4, maka didapat nilai gaya angkat sebesar 0,058 N.

Mengacu pada berat *shuttlecock* yaitu sekitar 5,5 gram serta adanya gravitasi maka *shuttlecock* memiliki gaya berat 0,049 N. *Shuttlecock* menerima gaya angkat yang lebih besar dari pada gaya beratnya sehingga melayang

4. Kesimpulan

Cooling fan 120 mm dengan spesifikasi 12 VDC 3,2 A dapat digunakan sebagai sumber aliran udara pada *Shuttlecock Balancing Tester* (SBT) dengan bentuk dan tampilan yang lebih baik, dimensi lebih kecil dan suara bising lebih rendah dibandingkan SBT yang ada di UMKM yang menggunakan kipas blower. *Honeycomb* dengan diameter 6 mm dan 8 mm, keduanya dapat digunakan pada SBT, dengan kecepatan aliran udara 4,6 – 5,0 m/s. Namun dengan menggunakan *honeycomb* 8 mm membutuhkan

daya *cooling fan* lebih rendah yaitu 11% dibandingkan dengan menggunakan *honeycomb* 6 mm yang membutuhkan daya *cooling fan* yaitu 13%. terjadinya perbedaan kecepatan aliran udara untuk mengangkat *shuttlecock* dengan menggunakan *honeycomb* 6 mm dan 8 mm karena ukuran *honeycomb* mempengaruhi nilai koefisien angkat dari kecepatan udara yang mengalir. Hal tersebut menunjukkan bahwa menggunakan *honeycomb* 8 mm menghasilkan gaya angkat yang lebih besar dibandingkan jika menggunakan *honeycomb* 6mm.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Unit Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Harapan Bersama yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini. Selain itu terima kasih kepada Koperasi *Shuttlecock* Lawatan Sejahtera (SLS) atas dukungan dan izin survei proses produksi *shuttlecock*.

Daftar Pustaka

- [1] H. Aksan, *Mahir Dalam Permainan Bulu Tangkis*. Nuansa Cendekia, 2021.
- [2] A. L. Kawuri, E. Liquiddanu, M. Hisjam, and B. Suhardi, "Quality Testing of Shuttlecock SME Products to Improve SNI Certification in Indonesia," 2022.
- [3] B. W. F. BWF, "The LAWS of Badminton," worldbadminton.com. [Online]. Available: <https://www.worldbadminton.com/rules/#15>
- [4] P. Djarum, "Mengenal Standar Shuttlecock dalam Bulutangkis," pbdjarum.org. [Online]. Available: <https://pbdjarum.org/berita/diluar-arena/20220119-mengenal-standar-shuttlecock-dalam-bulutangkis#gref>
- [5] T. Sulistyani and M. Sari, "Usulan Perbaikan Kualitas Produk Shuttlecock 'Claudia' Dengan Metode Six sigma di Perusahaan Shuttlecock 'Claudia' Kabupaten Tegal," *Permana J. Perpajakan, Manajemen, dan Akunt.*, vol. 13, no. 2, pp. 163–181, 2021, doi: 10.24905/permana.v13i2.198.
- [6] C. F. Putri, "Upaya Menurunkan Jumlah Cacat Produk Shuttlecock Dengan Metode Six Sigma," *Widya Tek.*, vol. 18, no. 2, pp. 14–23, 2010, [Online]. Available: <http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/widyateknika/article/view/47>
- [7] R. B. Susanto, "Analisa Kinerja Mesin Penancap Bulu Shuttlecock Semi Otomatis," Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2022. [Online]. Available: <http://repository.unpkediri.ac.id/6583/>
- [8] A. Rusdiawan, T. Y. Isain, M. S. Zuhrie, M. Labib, and S. Ar, "Designing an Automated Badminton Shuttlecock Launcher to Enhance the Athletic Performance of Badminton Players," *Kinestetik J. Ilm. Pendidik. Jasm.*, vol. 7, no. 4, pp. 1014–1022, 2023.
- [9] D. P. A. Dimas Aziz Nugraha, Tjan Swi Hong, "Pelontar shuttlecock otomatis sebagai alat bantu latihan olahraga bulutangkis berbasis internet of things," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4232>
- [10] R. C. Mehta, "Aerodynamics of Sport Balls, Badminton Shuttlecock and Javelin," *Sch. J. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 02, pp. 4–16, Feb. 2023, doi: 10.36347/sjet.2023.v11i02.001.
- [11] F. Alam, C. Nutakom, and H. Chowdhury, "Effect of porosity of badminton shuttlecock on aerodynamic drag," *Procedia Eng.*, vol. 112, pp. 430–435, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.07.220.

- [12] F. Alam, H. Chowdhury, C. Theppadungporn, and A. Subic, "Measurements of aerodynamic properties of badminton shuttlecocks," *Procedia Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 2487–2492, 2010, doi: 10.1016/j.proeng.2010.04.020.
- [13] X. Cao, J. Qiu, X. Zhang, and J. Shi, "Rotation properties of feather shuttlecocks in motion," *Procedia Eng.*, vol. 72, pp. 732–737, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.06.124.
- [14] N. Aisyah, "Kondisi Fisik Olahraga Bulutangkis Physical Condition of Badminton Sports," *J. Ilm. Sport Coach. Educ.*, vol. 5, no. 1, pp. 47–54, 2021.
- [15] Sahid, D. Hendrawati, Y. Mahfudz, Mulyono, and A. Falihal, "Turbin Angin Poros Horizontal Tipe Flat Sudu Banyak Dengan Perlakuan Sudut Luaran," *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, pp. 326–335, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.126.