



Pengaruh Kemiringan Sudut *Nozzle* Terhadap Performa *Turbo Jet Fan Double Spool*

Ari Saputra¹, Asrori Asrori^{2*}

¹⁻² Fakultas Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: asrori@polinema.ac.id*

Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

*Korespondensi Penulis

Abstract. *The development of electric propulsion systems has become a major focus in efforts to provide energy-efficient and environmentally friendly air propulsion technology. One emerging innovation is the electric motor-based turbojet fan, which is expected to replace conventional fossil-fueled systems. As the need for energy efficiency increases, studies on electrical power consumption and airflow performance are crucial in supporting the development of new-generation propulsion systems. This study aims to evaluate the relationship between nozzle angle and the characteristics of electrical power consumption and airflow velocity in a double-spool turbojet fan. The method used is an experimental test with an ESP32-based control system. The duty cycle is set at 80% to maintain operational stability. Research data is obtained through measurements of electrical current, voltage, and airflow velocity. The nozzle angle variations tested include 13°, 19°, and 25°. The test results show a significant difference between nozzle angle variations on electrical power consumption and wind speed performance. The 13° nozzle angle produces the highest electrical power consumption, indicating a greater energy requirement to maintain airflow. Conversely, the optimal wind speed was found at an angle of 19°, indicating a balance between energy efficiency and aerodynamic performance. Meanwhile, an angle of 25° showed a decrease in performance in terms of both power and speed, making it less effective. In conclusion, the nozzle configuration has a direct influence on energy consumption and fluid dynamics in electric turbojet fan systems. This research provides an important contribution to the design of electric-based propulsion systems by emphasizing efficiency and performance aspects, while supporting the transition to environmentally friendly technologies.*

Keywords: *airflow performance; BLDC motor; jet fan; nozzle angle; power consumption.*

Abstrak. Perkembangan sistem propulsi elektrik menjadi fokus utama dalam upaya menghadirkan teknologi penggerak udara yang hemat energi sekaligus ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah turbo jet fan berbasis motor listrik, yang diharapkan mampu menggantikan sistem konvensional berbahan bakar fosil. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan efisiensi energi, kajian terhadap konsumsi daya listrik dan performa aliran udara menjadi sangat penting dalam mendukung pengembangan sistem propulsi generasi baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara sudut nozzle dengan karakteristik konsumsi daya listrik dan kecepatan aliran udara pada turbo jet fan berkonfigurasi double spool. Metode yang digunakan berupa uji eksperimen dengan sistem kontrol berbasis ESP32. Duty cycle ditetapkan sebesar 80% untuk menjaga kestabilan operasi. Data penelitian diperoleh melalui pengukuran arus listrik, tegangan, serta kecepatan aliran udara. Variasi sudut nozzle yang diuji meliputi 13°, 19°, dan 25°. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara variasi sudut nozzle terhadap konsumsi daya listrik dan performa laju angin. Sudut nozzle 13° menghasilkan konsumsi daya listrik tertinggi, menunjukkan adanya kebutuhan energi yang lebih besar untuk mempertahankan aliran udara. Sebaliknya, kecepatan laju angin optimal ditemukan pada sudut 19°, yang menandakan keseimbangan antara efisiensi energi dan kinerja aerodinamika. Sementara itu, sudut 25° menunjukkan penurunan performa baik dari sisi daya maupun kecepatan, sehingga kurang efektif digunakan. Kesimpulannya, konfigurasi nozzle memiliki pengaruh langsung terhadap konsumsi energi dan dinamika fluida pada sistem turbo jet fan elektrik. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perancangan sistem propulsi berbasis listrik dengan menekankan aspek efisiensi dan performa, sekaligus mendukung transisi menuju teknologi ramah lingkungan.

Kata kunci: aliran udara; jet fan; konsumsi daya; motor BLDC; nozzle

1. LATAR BELAKANG

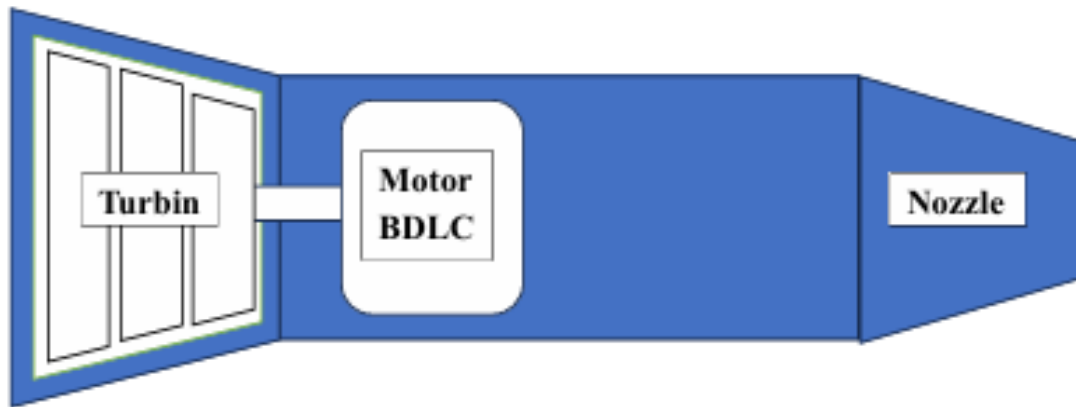
Penggunaan sistem propulsi berbasis listrik di bidang otomotif dan aerodinamika menjadi solusi modern untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Salah satu bentuk inovasi yang berkembang adalah turbo jet fan yang digerakkan oleh motor Brushless Direct Current (BLDC). Sistem ini tidak hanya menawarkan respons kontrol yang cepat, tetapi juga memungkinkan pengaturan putaran motor secara presisi melalui sinyal PWM.

Dalam struktur turbo jet fan, konfigurasi double spool memungkinkan pemisahan antara dua poros putar yang bekerja secara independen, sehingga mampu menangani aliran udara dengan lebih efisien. Di sisi lain, desain geometris dari nozzle juga memainkan peran penting dalam mengarahkan dan mempercepat aliran udara keluar dari sistem. Perbedaan sudut nozzle diyakini akan memengaruhi konsumsi daya listrik serta karakteristik aliran fluida.

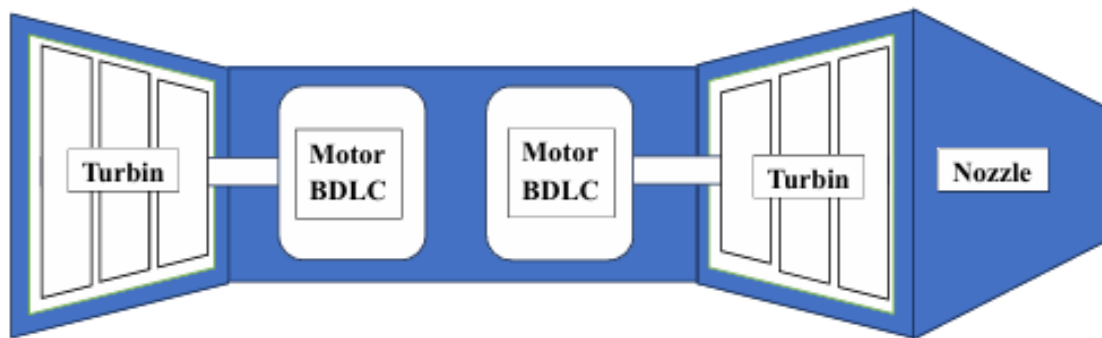
Namun, kajian mengenai turbo jet fan listrik dengan konfigurasi double spool secara spesifik, terutama yang hanya memfokuskan pada konsumsi daya dan kecepatan udara tanpa melibatkan aspek efisiensi, masih sangat terbatas. Hal ini menjadi dasar urgensi dari penelitian ini, untuk menghasilkan data empiris yang dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi turbo fan listrik pada masa depan.

2. KAJIAN TEORITIS

Turbo jet fan merupakan perangkat pendorong yang bekerja dengan prinsip percepatan aliran udara melalui bilah kipas yang diputar oleh motor. Turbo jet fan memiliki konfigurasi jumlah spool yang menandakan banyaknya mesin atau penggerak untuk memutar set turbin. Biasanya turbo jet fan diaplikasikan dengan konfigurasi single spool atau double spool. Pada sistem double spool, terdapat dua poros yang memungkinkan pengaturan kecepatan putaran secara lebih fleksibel, di mana masing-masing spool atau set turbin dapat mengoptimalkan distribusi daya mekanis terhadap blade yang berbeda, karena setiap spool digerakkan oleh poros yang berbeda.



Gambar 1. Turbo Jet Fan Single Spool.



Gambar 2. Turbo Jet Fan Double Spool.

Turbo jet fan tidak hanya dipengaruhi oleh motor dan sudut nozzle saja, tetapi juga oleh bentuk bilah kipas dan saluran masuk (*inlet*). Jika bentuk bilah kipas dirancang dengan sudut yang tepat, aliran udara bisa lebih lancar dan tenaga dorong yang dihasilkan akan lebih besar. Selain itu, perbedaan tekanan antara bagian dalam fan dan keluaran nozzle juga sangat berpengaruh terhadap besarnya dorongan (*thrust*).

Motor BLDC sebagai penggerak utama memiliki keunggulan berupa efisiensi putaran tinggi, bebas dari gesekan karbon sikat, dan pengaturan kecepatan yang presisi melalui sinyal PWM. Duty cycle dari sinyal PWM memengaruhi besar tegangan rata-rata yang masuk ke motor, yang secara langsung berdampak pada kecepatan dan arus listrik yang dikonsumsi. Selain itu, motor BLDC memiliki karakteristik torsi yang relatif konstan pada rentang kecepatan rendah hingga menengah, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kestabilan putaran seperti sistem propulsi listrik. Motor ini juga memiliki

densitas daya (power density) yang tinggi dibandingkan motor DC konvensional, sehingga ukuran dan beratnya dapat diminimalkan tanpa mengorbankan performa.

Sudut nozzle yang divariasikan akan mengubah bentuk penampang saluran keluaran. Semakin besar sudutnya, maka semakin luas pula area keluaran aliran udara, namun hal ini juga akan menambah beban kerja pada motor akibat meningkatnya volume udara yang harus didorong. Oleh karena itu, penting untuk mengamati hubungan antara geometri nozzle dan performa sistem dalam konsumsi daya serta output kecepatan angin. Penelitian ini dilakukan percobaan dengan memvariasikan sudut nozzle pada turbo jet fan guna mengetahui apakah besar sudut pada nozzle turbo jet fan ini akan berpengaruh pada konsumsi daya maupun keluaran dayanya. Pengaplikasian sudut nozzle pada penelitian ini memiliki variasi 25°, 19°, dan 13°.

Dua spool adalah konfigurasi mesin, seperti pada turbo jet fan, yang memiliki dua poros (shaft) konsentris yang dapat berputar secara independen. Poros pertama, yang disebut low-pressure spool, menggerakkan kipas dan kompresor tekanan rendah, sedangkan poros kedua, yang disebut high-pressure spool, menggerakkan kompresor tekanan tinggi. Dengan sistem ini, masing-masing poros dapat berputar pada kecepatan yang berbeda sesuai kebutuhan, sehingga aliran udara dan proses kompresi bisa diatur lebih optimal. Keunggulannya, mesin menjadi lebih fleksibel dan mampu mempertahankan performa pada berbagai kondisi operasi. Namun, desain dua spool lebih kompleks dibandingkan satu spool, membutuhkan daya lebih besar, serta memiliki potensi kerugian energi lebih tinggi akibat gesekan dan mekanisme tambahan.

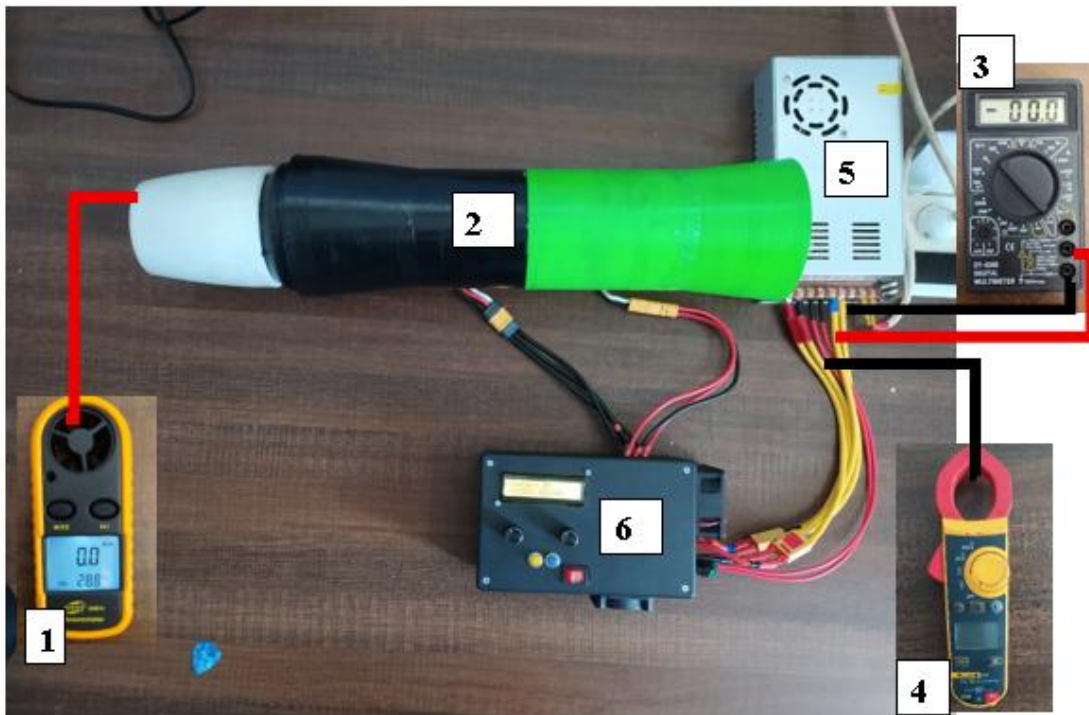
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan fokus pada sistem turbo jet fan double spool. Variasi utama yang diteliti adalah sudut nozzle yaitu 25°, 19°, dan 13°, dengan parameter tetap seperti duty cycle sebesar 80%, jenis motor BLDC (24 V, 500W), dan pengukuran dilakukan dalam ruangan dengan suhu stabil 30°C.

Alat ukur yang digunakan meliputi penggunaan multimeter digital untuk melihat tegangan dan arus listrik. Lalu anemometer digital untuk mengukur kecepatan aliran udara pada ujung nozzle. Selain itu ESP32 sebagai pengontrol sinyal PWM ke motor melalui ESC, serta penggunaan power supply DC 24 V / 100 A sebagai sumber catu daya. Data yang dikumpulkan mencakup nilai tegangan, arus, serta kecepatan udara rata-rata dari tiga kali pengukuran per variasi sudut nozzle.

Dalam penelitian ini, setting peralatan pertama adalah memprogram main board ESP32 untuk pengaturan duty cycle lalu menghubungkan port PWM pada main board ESP32 ke ESC.

Melakukan pengaturan duty cycle melalui tombol yang terintegrasi dengan ESP32, lalu melakukan pengukuran kecepatan aliran udara menggunakan anemometer. Kemudian menyiapkan komponen utama, seperti power supply digital, motor BLDC, anemometer, manometer dan nozzle jet fan dengan berbagai variasi sudut kemiringan (25° , 19° , dan 13°). Power supply digital digunakan untuk mengatur tegangan dan arus yang sesuai. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan anemometer dan manometer pada ujung nozzle untuk memastikan data yang akurat dan konsisten.



Gambar 3. Setting Peralatan.

Keterangan:

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 1. Anemometer | 4. Multimeter (Ampere) |
| 2. Turbo Jet Fan Double Spool | 5. Power Supply (24V) |
| 3. Multimeter (Volt) | 6. Kontroler |

Dalam proses pengukuran dan pengambilan data dilakukan secara bergantian, dimana pengukuran laju aliran udara tidak bisa diukur bersamaan dengan pengukuran tekanan pada nozzle turbo jet fan. Namun pada pengukuran arus listrik dan tegangan listrik diukur bersamaan untuk memperoleh data yang akurat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Nilai pengujian Tegangan, Arus, Aliran Udara, dan Konsumsi Daya.

Sudut Nozzle (°)	Tegangan (V)	Arus (A)	Aliran Udara (m/s)	Konsumsi Daya (Watt)
25	24	5.7	16.1	136.8
	24	5.8	16.3	139.2
	24	5.7	16.2	136.8
19	24	5.7	15.8	136.8
	24	6.1	15.9	146.4
	24	6	16	144.0
13	24	5.8	8.1	139.2
	24	6	8.3	144.0
	24	6.2	8.4	148.8

Tabel 1 menyajikan hasil pengukuran performa turbo jet fan double spool pada tiga variasi sudut nozzle, yaitu 25°, 19°, dan 13°. Parameter yang dicatat meliputi tegangan listrik, arus, kecepatan aliran udara, serta konsumsi daya listrik.

Pada sudut nozzle 25°, tegangan stabil di 24 V dengan arus rata-rata sekitar 5,7–5,8 A. Kecepatan aliran udara berada di kisaran 16,1–16,3 m/s, sedangkan konsumsi daya tercatat antara 136,8–139,2 W. Nilai ini menunjukkan bahwa pada sudut besar, sistem mampu menghasilkan kecepatan aliran udara tinggi dengan kebutuhan daya yang relatif moderat.

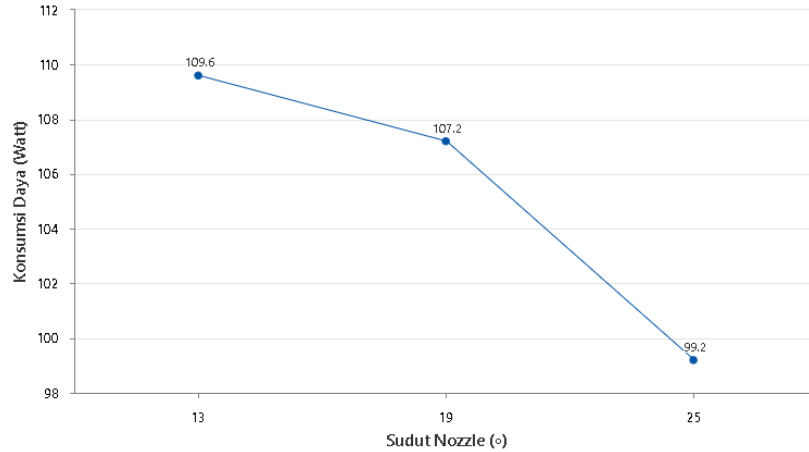
Ketika sudut nozzle diturunkan menjadi 19°, arus meningkat hingga 6,1 A dengan konsumsi daya yang lebih tinggi, berkisar antara 136,8–146,4 W. Kecepatan aliran udara tercatat pada rentang 15,8–16,0 m/s. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun konsumsi daya bertambah, kecepatan udara yang dihasilkan masih berada pada level yang cukup baik dan hanya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan sudut 25°.

Pada sudut nozzle terkecil yaitu 13°, terlihat adanya perubahan signifikan. Arus meningkat hingga 6,2 A dengan konsumsi daya mencapai 148,8 W, yang merupakan nilai tertinggi pada pengujian. Namun, kecepatan aliran udara justru menurun drastis ke kisaran 8,1–8,4 m/s. Fenomena ini terjadi karena semakin kecil sudut nozzle, aliran udara yang keluar menjadi lebih menyebar sehingga energi kinetik udara tidak lagi terfokus, menyebabkan laju aliran berkurang meskipun motor bekerja lebih berat.

Secara keseluruhan, Tabel 1 menunjukkan bahwa sudut nozzle memiliki pengaruh langsung terhadap konsumsi daya dan kecepatan aliran udara. Sudut besar (25°–19°) cenderung lebih optimal untuk menghasilkan kecepatan udara tinggi dengan konsumsi daya yang masih

efisien, sedangkan sudut kecil (13°) meningkatkan beban motor tanpa memberikan kontribusi positif terhadap laju aliran udara.

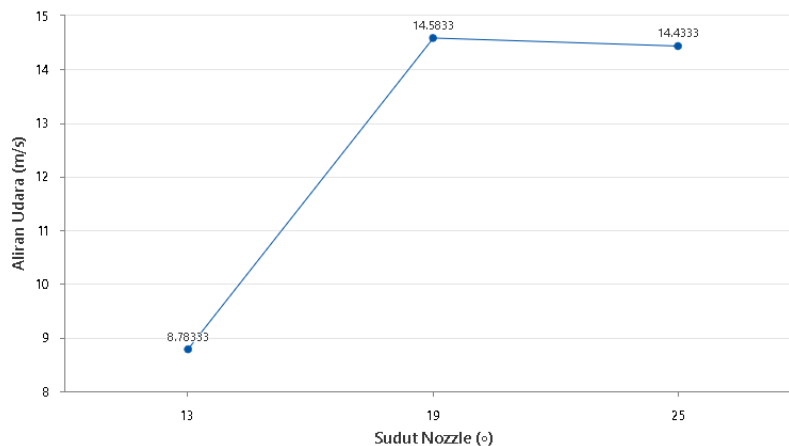
Konsumsi Daya Listrik



Gambar 4. Grafik Konsumsi Daya Listrik.

Grafik konsumsi daya listrik memperlihatkan adanya tren kenaikan seiring berkurangnya sudut nozzle dari 25° , 19° , hingga 13° . Pada sudut 25° , konsumsi daya rata-rata berada pada kisaran 137,5 W. Ketika sudut diperkecil menjadi 19° , konsumsi daya meningkat menjadi 142,4 W, dan mencapai nilai tertinggi pada sudut 13° dengan konsumsi daya 144,0 W. Kenaikan ini dapat dijelaskan melalui prinsip mekanika fluida dan kinerja motor BLDC. Sudut nozzle yang lebih kecil akan menghasilkan luas penampang keluaran yang lebih lebar, sehingga volume udara yang harus didorong oleh kipas menjadi lebih besar. Akibatnya, beban pada motor bertambah, yang secara langsung meningkatkan arus listrik yang ditarik.

Kecepatan Laju Angin



Gambar 5. Grafik Kecepatan Aliran Udara.

Grafik kecepatan aliran udara menunjukkan tren yang berbeda dibanding konsumsi daya. Pada sudut 25° , kecepatan aliran udara mencapai 16,2 m/s, sementara pada sudut 19° sedikit menurun menjadi 15,9 m/s. Namun, pada sudut 13° , kecepatan aliran udara mengalami penurunan signifikan hingga hanya 8,3 m/s.

Penurunan drastis pada sudut 13° disebabkan oleh melemahnya tekanan statis udara di dalam nozzle. Saat sudut semakin kecil, aliran udara yang keluar dari nozzle cenderung melebar dan kehilangan fokus arah, sehingga energi kinetik udara tidak lagi terkonsentrasi pada satu jalur lurus. Akibatnya, meskipun motor mengonsumsi lebih banyak daya untuk mendorong udara, energi tersebut tidak sepenuhnya terkonversi menjadi percepatan aliran, melainkan hilang dalam bentuk turbulensi dan penyebaran arah aliran.

Analisis

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang tidak linear antara sudut nozzle dengan konsumsi daya listrik dan kecepatan aliran udara. Pada sudut 25° dan 19° , kecepatan aliran udara relatif tinggi, masing-masing mencapai sekitar 16,2 m/s dan 15,9 m/s, dengan konsumsi daya yang masih berada pada tingkat moderat yaitu 137–142 W. Namun, ketika sudut nozzle diperkecil hingga 13° , meskipun konsumsi daya meningkat menjadi rata-rata 144 W bahkan mencapai 148,8 W, kecepatan aliran udara justru mengalami penurunan signifikan hingga hanya sekitar 8,3 m/s. Fenomena ini menegaskan adanya trade-off antara kebutuhan energi listrik dan performa laju udara pada sistem turbo jet fan dengan konfigurasi double spool.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada sistem turbo jet fan dengan konfigurasi double spool, konsumsi daya listrik meningkat seiring berkurangnya sudut nozzle. Namun, kecepatan laju angin tidak menunjukkan peningkatan yang selaras dengan daya yang dikonsumsi. Kecepatan udara tertinggi justru terjadi pada sudut nozzle yang lebih besar (25° dan 19°). Temuan ini mengindikasikan bahwa pengaturan sudut nozzle memiliki peran signifikan dalam menentukan performa akhir aliran udara, dan perlu dipertimbangkan secara hati-hati dalam perancangan turbo jet fan listrik di masa mendatang.

Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan desain nozzle pada sistem propulsi berbasis motor BLDC, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan keseimbangan antara konsumsi daya dan performa laju udara. Namun, penelitian ini masih terbatas pada tiga variasi sudut nozzle dengan duty cycle tetap 80%. Oleh karena itu, studi lebih

lanjut perlu dilakukan dengan memperluas variasi sudut, perubahan duty cycle, serta simulasi numerik menggunakan perangkat lunak CFD agar hasil yang diperoleh lebih komprehensif.

Disarankan pula untuk menambahkan parameter lain seperti pengukuran thrust, efisiensi energi, serta analisis kebisingan, sehingga pengembangan turbo jet fan listrik dapat mengakomodasi kebutuhan praktis di bidang aerodinamika maupun transportasi modern.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Malang atas segala dukungan fasilitas dan bimbingan yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data serta pelaksanaan eksperimen. Tanpa dukungan mereka, penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Akbar, D., & Riyadi, S. (2019). Pengaturan kecepatan pada motor brushless DC (BLDC) menggunakan PWM (Pulse Width Modulation). Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi, 255–262. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.30>
- Amal, I. B. A. (2023). Types of jet propulsion engine. Faculty of Mechanical Manufacturing Engineering, Aircraft Propulsion BDU. <https://www.slideshare.net/slideshow/types-of-jet-propulsion-engine-1/15174430>
- Balli, O., & Caliskan, H. (2021). Turbofan engine performances from aviation, thermodynamic and environmental perspectives. *Energy*, 232, 121031. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121031>
- Caroko, N., & Setiawan, S. S. B. (2014). Kaji eksperimen pengaruh variasi diameter nozzle throat terhadap thrust pada motor roket propellant padat. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 15(2). <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/449909>
- Chairat, A. S. N., & Yuda, R. (2016). Analisa kapasitas force draft fan dengan bahan bakar batubara kualitas rendah. *Jurnal Power Plant*, 6–11.
- Edukasielektro, J., Sartika, L., & Prasetya, A. M. (n.d.). Pengaturan kecepatan motor brushless direct current (BLDC) menggunakan metode field oriented control (FOC). *Jurnal Edukasi Elektro*. <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- Giesen, B. J. M. v. d., Penders, S. H. A., Loomans, M. G. L. C., Rutten, P. G. S., & Hensen, J. L. M. (2011). Modelling and simulation of a jet fan for controlled air flow in large enclosures. *Environmental Modelling and Software*, 26(2), 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.07.008>
- Harfi, R., et al. (2022). Analisis pengaruh variasi nosel terhadap putaran dan daya turbin pada prototipe turbin pelton. *Jurnal Teknologi Mesin*, 24(2), 33–41.
- Hasan, E., Daud, M., Yusdartono, H. M., & Kartika, K. (2023). Desain kontrol motor brushless direct current (BLDC) menggunakan boost converter. *JETRI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 20(2), 117–134. <https://doi.org/10.25105/jetri.v20i2.14945>

- Jatmiko, J., Basith, A., Ulinuha, A., Muhlasin, M. A., & Khak, I. S. (2018). Analisis performa dan konsumsi daya motor BLDC 350 W pada prototipe mobil listrik Ababil. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(2), 55–58. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i2.6348>
- Król, A., & Król, M. (2018). Study on numerical modeling of jet fans. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 73, 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.12.024>
- Liew, K., Urip, E., Yang, S., Mattingly, J., & Marek, W. C. (2005). Performance cycle analysis of a two-spool, separate-exhaust turbofan with interstage turbine burner. NASA. <http://www.sti.nasa.gov>
- Mogensen, K. N. (2016). Motor-control considerations for electronic speed control in drones. *Analog Applications Journal*, 1–7. <http://www.ti.com/lit/an/slyt692/slyt692.pdf>
- Montazeri-Gh, M., & Rasti, A. (2019). Analyzing different numerical linearization methods for the dynamic model of a turbofan engine. *Mechanics and Industry*, 20(3). <https://doi.org/10.1051/meca/2019012>
- NASA Glenn Research Center. (n.d.). Jet fan engine. NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k12/airplane/aturbf.html>
- Nayak, S. G., Patil, A., & Gadagenavar, G. (2022). Development and analysis of speed control of BLDC motor with Arduino controller. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 11(4), 63–66. <https://doi.org/10.35940/ijitee.c9813.0311422>
- Program, M., et al. (2022). Pengaruh variasi sudut nozzle daya output pada prototype PLTMH. *Jurnal Energi Terbarukan*, 9(2), 112–119.
- Rabeta, B. (2020). Perbandingan analisis termodinamika mesin TPE-331 dan PT6A-42 terhadap variasi ketinggian terbang. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 5(2). <https://doi.org/10.35894/jtk.v5i2.17>
- Rajeevalochanam, P., Sunkara, S. N. A., Ramana Murthy, S. V., & Kumaran, R. S. (2020). Design of a two spool contra-rotating turbine for a turbo-fan engine. *Propulsion and Power Research*, 9(3), 225–239. <https://doi.org/10.1016/j.jprr.2020.08.001>
- Rusaldi, H., Yadie, E., & Arabain, A. (2021). Analisis konsumsi daya mobil listrik dengan penggerak motor brushed DC. *POLIGRID*, 2(1). <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/2808758>
- Rusnoto, & Shofani, L. (2009). Pengaruh susunan sudut turbin angin Savonius terhadap karakteristik daya turbin. *CERMIN*, (044). <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/116967>
- Schuddebeurs, J., Data, E., & Nederland, S. (2014). De-risking integrated full electric propulsion (IFEP) vessels using advanced modelling and simulation techniques. *Maritime Systems Engineering*, (November).
- Setyabudi, P. B., Chrismianto, D., & Rindo, G. (2016). Analisa nilai thrust dan torque propeller tipe B-series pada kapal selam midget 150 m dengan variasi skew angle dan blade area ratio (AE/AO) menggunakan metode CFD. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 13(3). <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1396184>
- Sutoyo, E., et al. (2023). Analisis pengaruh variasi sudut kemiringan nozzle terhadap performa turbin. *Jurnal Mesin Energi*, 9(1), 36–43.
- Vimal Kumar, S. K., & Agarwal, R. (2018). Closed loop speed control of BLDC motor using microcontroller and LabVIEW interface monitoring. *International Journal of Innovative*

Research in Science, Engineering and Technology, 7(10), 9580–9585.
<https://doi.org/10.15680/IJRSET.2018.0706114>

- Wahono, T., & Sutikno, T. (2016). Skema pengendali motor BLDC tanpa sensor posisi rotor dengan metode deteksi back EMF berbasis mikrokontroler Arduino. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 2(2).
<https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1157708>
- Wardani, I. S., & Manan, S. (2016). Power supply inverter DC-DC sebagai supply audio amplifier. *Gema Teknologi*, 18(4).
- Wibowo, Y. C., & Riyadi, S. (2018). Analisa pembebanan pada motor brushless DC (BLDC). *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol, dan Otomasi*, 10–11.
- Wibowo, Y., & Riyadi, S. (2019). Analisa pembebanan pada motor brushless DC (BLDC). *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol, dan Otomasi*, 33.
<https://doi.org/10.5614/sniko.2018.33>
- Yan, J., Song, M., Zhang, J., Jin, D., & Gui, X. (2018). Analysis of the fan performance in the turbofan engine test. *Journal of Physics: Conference Series*, 1064(1), 012053.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1064/1/012053>
- Yongguang, H., Yongkang, C., Wuzhe, W., Zhiyuan, H., & Pingping, L. (2021). Optimization design of spray cooling fan based on CFD simulation and field experiment for horticultural crops. *Agriculture*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture11060566>