



Analisis Dinamika *Performa Engine Turbofan* Pada *Boeing 737- 300* Dalam Kondisi *Idle* Hingga *Take-Off*

Rifan Satria Rizki A¹, Candra Bayu A^{2✉}, Aisyah Winda N³, Hadi Prayitno⁴, Sulaiman Musa⁵

^{1,2,3,4} Politeknik Penerbangan Surabaya

⁵ University Brunei Darussalam

Alamat Email: rifansatria20@gmail.com¹, aisyahwinda123@gmail.com³, hadi.stpi@gmail.com⁴, 22h1903@ubd.edu.bn⁵

✉ Email Korespondensi: candrabayu375@gmail.com²

Paper Received: 27 November 2024; **Revised:** 16 Maret 2025; **Accepted:** 19 Maret 2025;

Published: 21 Maret 2025

Abstrak

Penelitian ini membahas analisis kinerja mesin *turbofan* tipe CFM56-3-B1 yang digunakan pada pesawat *Boeing 737-300* dalam berbagai kondisi operasional. Penelitian ini dilakukan untuk memahami *performa* mesin dalam kondisi penerbangan berbeda, seperti minimum *idle*, *approach idle*, *maximum continuous*, dan *take off*. Penelitian ini dilakukan dengan metode kualitatif yang menggunakan pendekatan deskriptif dan studi literatur. Hasil analisis membuktikan bahwa kinerja *fan*, *booster*, dan kompresor bertekanan tinggi (HPC) lebih tinggi dari nilai idealnya akibat ketidakseimbangan kompresor serta kebocoran yang menyebabkan kenaikan suhu kompresi. Selanjutnya, ditemukan saat proses *take off* efisiensi termal menjadi tinggi dengan efisiensi aktual sebesar 37%, tetapi masih lebih rendah dari efisiensi ideal 47%, yang disebabkan oleh gesekan material dan faktor lingkungan. Sedangkan gaya dorong maksimum dicapai berkat kombinasi desain *nozzle* panas dan dingin. Kesimpulan menunjukkan bahwa efisiensi mesin dipengaruhi oleh gesekan material dan kondisi lingkungan sekitar, yang berdampak pada penurunan efisiensi termal sebesar 9,59%. Saran diberikan untuk meningkatkan efisiensi termal dan daya dorong dengan optimalisasi aliran udara dan pendinginan mesin.

Kata Kunci: boeing 737-300, CFM56-3B1, turbofan

Abstract

This article discusses the performance analysis of the CFM56-3-B1 turbofan engine used on the Boeing 737-300 aircraft under various operational conditions. This study was

conducted to understand the engine performance under different flight conditions, such as minimum idle, approach idle, maximum continuous, and take off. This study was conducted using a qualitative method using a descriptive approach and literature study. The results of the analysis prove that the performance of the fan, booster, and high-pressure compressor (HPC) is higher than its ideal value due to compressor imbalance and leakage that causes an increase in compression temperature. Furthermore, it was found that during the take-off process the thermal efficiency became high with an actual efficiency of 37%, but still lower than the ideal efficiency of 47%, which was caused by material friction and environmental factors. While the maximum thrust was achieved thanks to the combination of hot and cold nozzle designs. The conclusion shows that engine efficiency is affected by material friction and environmental conditions, which have an impact on reducing thermal efficiency by 9.59%. Suggestions are given to improve thermal efficiency and thrust by optimizing airflow and engine cooling.

Keywords: boeing 737-300, CFM56-3-B1, turbofan

PENDAHULUAN

Saat ini, industri penerbangan dalam negeri semakin berkembang. Sejak tahun ini, banyak penyedia jasa transportasi udara yang membeli pesawat baru untuk menambah armadanya. Beberapa jenis pesawat yang diimpor perusahaan angkutan udara Indonesia tersebut antara lain *Sukhoi Superjet 100* dan *Boeing 737* (Tiwari et al., 2024). Mesin pesawat adalah sistem mesin turbin gas yang bertanggung jawab atas daya dorong pesawat. Tipe Series *Boeing 737-300* adalah series terbanyak yang dimiliki oleh banyak maskapai di Indonesia (Zhang et al., 2022).

Perkembangan signifikan dalam industri penerbangan dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar jet (Farazmand et al., 2024) berbahan dasar minyak tanah dalam jumlah besar dan peningkatan pencemaran lingkungan melalui emisi. Karena kenaikan harga bahan bakar dan masalah lingkungan terkait bahan bakar penerbangan, industri propulsi berfokus pada pengurangan konsumsi bahan bakar, pengurangan emisi, dan kinerja mesin yang tinggi. Alternatifnya adalah dengan mengganti pesawat udara (Vértesy, 2017) yang mesinnya berteknologi lama dengan mesin pesawat udara generasi baru, misalnya menggunakan mesin turbin gas atau *engine turbofan* (Doll et al., 2022). Mesin pesawat adalah sistem mesin turbin gas yang bertanggung jawab atas daya dorong pesawat. Tidak hanya bertanggung jawab terhadap daya dorong, mesin *turbofan Boeing 737-300* juga memberikan keseimbangan yang baik antara efisiensi energi, kinerja, dan biaya pengoperasian (Moirou et al., 2023). Mesin ini juga cukup bertenaga untuk menemani pesawat dalam berbagai kondisi penerbangan jarak pendek dan menengah, yang merupakan karakteristik dari *Boeing 737-300*.

Boeing 737-300 ini memakai mesin *turbofan* (ALEXANDRE et al., 2020) tipe CFM56-3-B1. CFM56-3 berasal dari keluarga CFM56, seri mesin terlaris di dunia yang diklaim oleh produsennya, CFM International, telah mengirimkan 30.000 mesin hingga saat ini, yang menggerakkan pesawat lorong tunggal untuk lebih dari 550 operator di seluruh dunia, dan memiliki keberhasilan karena keandalan dan kinerjanya. Mesin CFM56-3 pertama dirancang untuk pesawat *Boeing 737-300/400/500* pada tahun 1970-an (Abrantes et al., 2024).

METODE

Penulis penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan menggunakan metode deskriptif dan induktif. Penelitian kualitatif adalah studi tentang fenomena di luar yang melampaui apa yang dialami subjek penelitian, seperti perilaku, kognisi, motivasi, perilaku, dan lain-lain, secara menyeluruh melalui deskripsi bahasa dan kata-kata. Ini adalah penelitian belajar. Gunakan berbagai metode alami, khususnya dalam kondisi alami (XIN et al., 2019).

Penelitian kualitatif adalah jenis penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi, menemukan, mendeskripsikan, dan menjelaskan sifat dan ciri-ciri pengaruh sosial yang tidak dapat diukur, dijelaskan, atau diuraikan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian kualitatif bahwa metode penelitian kualitatif, yang berasal dari filosofi post-positivisme, digunakan untuk mempelajari keadaan benda-benda alam (sebagai lawan dari eksperimen).

Panelis dalam penelitian ini berasal dari para ahli atau praktisi yang memiliki kompetensi di bidang aviasi dan Teknik penerbangan seperti: instruktur teknik mesin pesawat, pilot *Boeing 737 – 300*, dan teknik pesawat (Prayitno et al., 2024). Sedangkan instrument yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis performa mesin turbofan dalam berbagai kondisi operasional yaitu dengan menggunakan mesin jenis CFM 56-3.

Penelitian ini dilakukan dengan triangulasi (triangulasi gabungan), analisis data dilakukan secara induktif atau kualitatif, dan temuan yang diperoleh dari penelitian ini lebih menekankan pentingnya daripada yang lain. Penelitian kualitatif adalah tradisi dalam ilmu sosial. Ini pada hakikatnya didasarkan pada mengamati orang dalam hubungan khusus dan menghubungkan mereka melalui bahasa dan terminologi. Penelitian kualitatif dibedakan dari jenis penelitian lainnya oleh beberapa karakteristiknya dan mengklaim bahwa penelitian kualitatif adalah akurat. Pertanyaan penelitiannya tidak jelas, tidak tepat, atau bahkan kurang jelas. Penelitian ini cocok untuk metode kualitatif. Ketika peneliti terjun langsung ke lapangan, ada masalah. Pendekatan kualitatif sangat baik untuk memahami interaksi sosial karena masalah sosial yang kompleks hanya dapat diselesaikan melalui analisis kualitatif yang didasarkan pada wawancara dan observasi menyeluruh terhadap kelompok sosial yang diteliti. Metode kualitatif sangat sesuai dengan teori, terutama jika teori didasarkan pada data lapangan. Metode kualitatif sangat baik untuk memastikan kebenaran data sosial, karena data di media sosial seringkali sulit ditemukan benar. Penggabungan metode kualitatif dan gabungan teknik pengumpulan data.

Desain Penelitian

Penelitian kualitatif, bertujuan untuk memahami fenomena dalam konteks alamiahnya sehingga tidak dapat mengubahnya. Dengan melihat dan memahami konteks dan makna penelitian ini, penulis dapat mengetahui bagaimana sistem kerja *engine turbofan* (Alfauzi et al., 2017) pada pesawat udara *Boeing 737-300*. Penelitian deskriptif bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang status gejala saat penelitian dilakukan. Hasil dari metode kualitatif lebih deskriptif dapat dengan mudah ditarik dari data yang diperoleh. Dengan adanya korelasi antara metode dan pendekatan yang dipilih penulis, penulis yakin bahwa artikel ini mudah dipahami oleh pembaca.

Populasi dan Sampel

Subyek penelitian ini adalah seluruh mesin *turbofan* (CHEN et al., 2025) tipe CFM56-3 yang digunakan pada pesawat *Boeing 737-300* atau mesin *turbofan* dengan spesifikasi serupa yang beroperasi pada industri penerbangan.

Sampel penelitian adalah mesin CFM56-3 (YANG et al., 2023) spesifik yang diuji dalam kondisi pengoperasian dan simulasi. Data dapat diambil dari mesin atau mesin tertentu yang dijadikan subjek penelitian, baik dalam uji lapangan langsung maupun dalam simulasi model dengan menggunakan data spesifikasi mesin.

Teknik Pengumpulan Data

Peneliti mengumpulkan data dalam penelitian ini melalui studi literatur, yaitu pencarian dan pengkajian kepustakaan dengan membaca berbagai buku, jurnal, dan publikasi lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

Studi literatur adalah suatu pendekatan untuk mengumpulkan data dan informasi melalui penelitian jurnal ilmiah, buku referensi, ensiklopedia, dan sumber terpercaya lainnya (dalam bentuk tertulis atau digital yang berkaitan dengan subjek yang diteliti). Studi literatur juga didefinisikan sebagai studi pustaka, yang berarti mencari informasi melalui buku, majalah, koran, dan sumber lainnya untuk membentuk landasan teori.

Teknik Analisis Data

Analisis data kualitatif adalah metode yang digunakan dalam analisis data, dan metode ini biasanya memberikan deskripsi untuk hasil analisisnya.

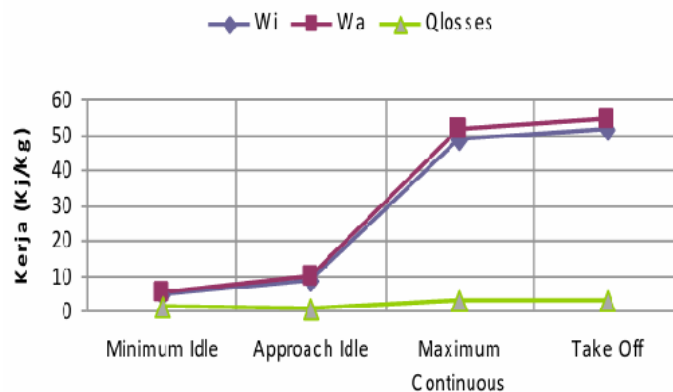
HASIL

Mesin CFM56-3 memiliki 4 versi yang memiliki daya dorong (*thrust*) berbeda. Di B737-300 bisa memakai CFM56-3-B1 atau CFM56-3-B2.

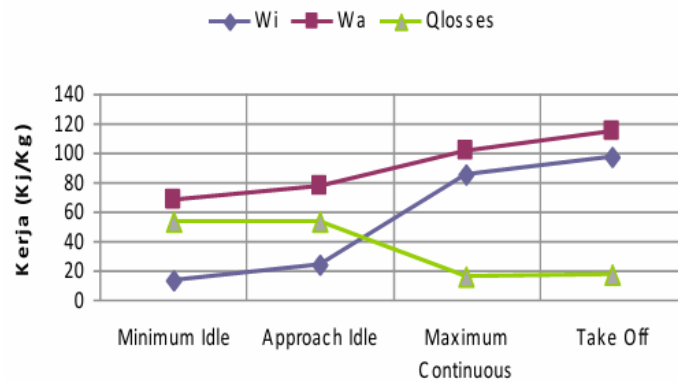
Tabel 1. Jenis dari CFM56-3

Version	Thrust	Application
CFM56-3-B1	20000 lb	B737-300/400/500
CFM56-3-B2	22000 lb	B737-300/400/500
CFM56-3-C1	23500 lb	B737-400
CFM56-3-B1 Derated	18500 lb	B737-500

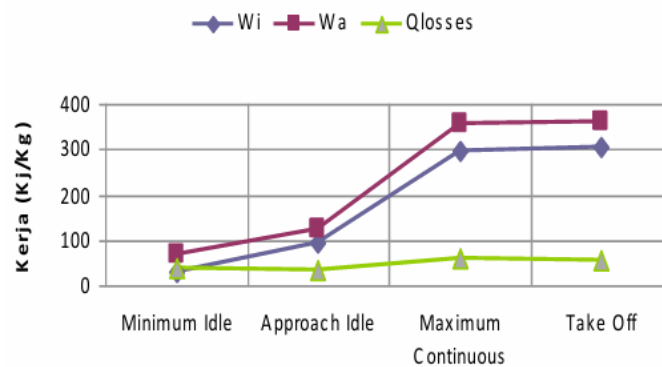
Menurut perhitungan yang dilakukan. Performa *engine turbofan* (MA et al., 2022) CFM56-3 dievaluasi melalui beberapa tahapan pengujian, termasuk minimum pendinginan, *approach* pendinginan, maksimum kontinu, dan *take off*. Dalam setiap kondisi, karakteristik unik yang mempengaruhi kerja, energi, dan gaya dorong yang dihasilkan oleh engine dapat diidentifikasi.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Fan



Gambar 2. Grafik Perbandingan *Booster*

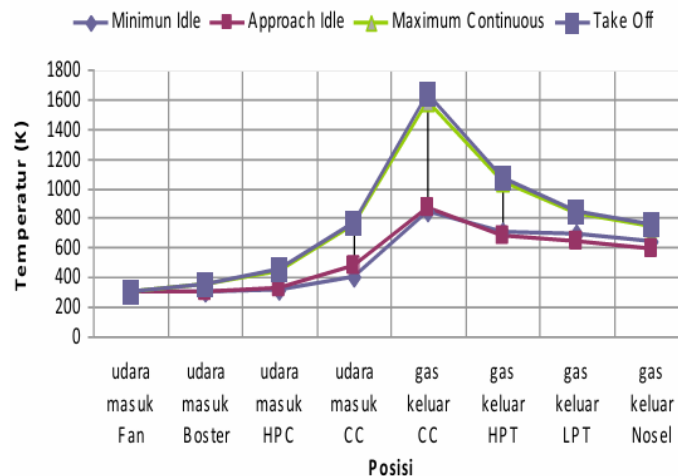


Gambar 3. Grafik Perbandingan HPC

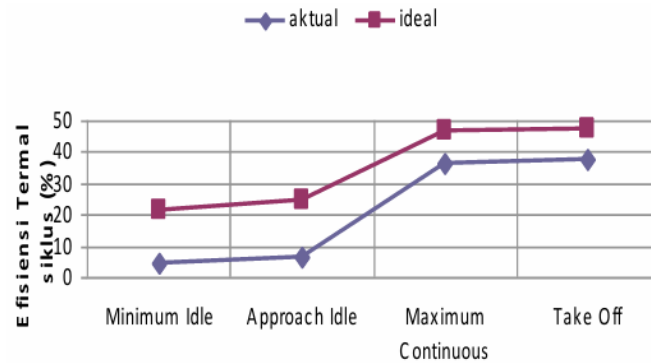
PEMBAHASAN

Kerja pada Fan, Booster, dan High Pressure Compressor

Dari grafik perbandingan kerja energi tersebut, terlihat bahwa dalam setiap kondisi, kerja aktual yang diperlukan *fan*, *booster*, dan HPC lebih tinggi dibandingkan kerja idealnya. Hal ini masih disebabkan oleh ketidakseimbangan pada sudut-sudut kompresor (Korba et al., 2023), yang memiliki tekanan dan temperatur yang berbeda di setiap titik, serta kebocoran di sepanjang lintasan kompresor. Kondisi-kondisi ini menyebabkan suhu naik selama proses kompresi, yang membutuhkan lebih banyak daya.



Gambar 4. Grafik Perubahan Temperature



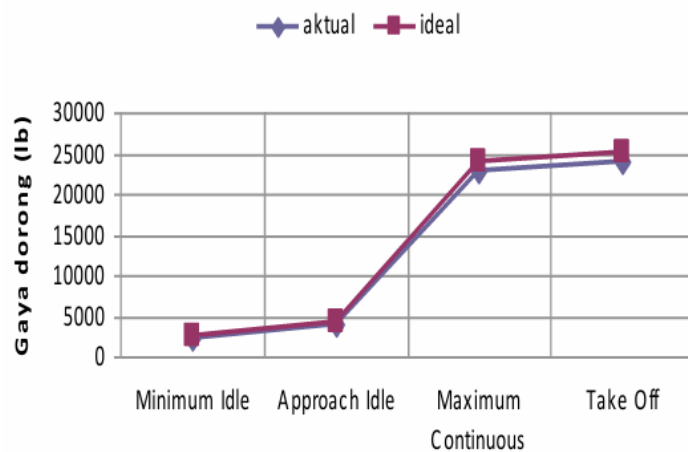
Gambar 5. Grafik Perbandingan Efisiensi Termal

Energi Masuk dan Kerja Turbin

Grafik energi masuk menunjukkan bahwa kondisi *approach idle* lebih rendah daripada kondisi *minimum idle* (Abdelghany et al., 2023). Kondisi *approach idle* meningkatkan suhu ruang bakar, tetapi suhu keluar yang lebih tinggi menyebabkan kerja turbin yang lebih besar. Ini karena aliran massa bahan bakar dan udara mengubah suhu di ruang bakar atau *Trise*.

Efisiensi Termal

Efisiensi termal yang tertinggi diperoleh pada kondisi *take off* di mana efisiensi aktual sebesar 37%. Sedangkan efisiensi ideal sebesar 47%. Terdapat perbedaan yang cukup besar pada kondisi aktual dan ideal. Perbedaan ini dikarenakan dimensi komponen memiliki perubahan akibat gesekan material yang mengakibatkan suhu meningkat. Efek lainnya adalah performa engine (Mitici et al., 2023) yang dipengaruhi kondisi sekitar, yaitu lingkungan. Kerja dari engine merupakan hasil perbedaan dari energi yang masuk dan keluar dari sistem.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Energi Gaya Dorong

Gaya Dorong (Thrust)

Dari grafik gaya dorong ini menunjukkan gaya dorong maksimum yang dihasilkan selama penerbangan. Karena memiliki dua *nozzle* (dingin dan panas). Kualitas aliran udara dan kecepatan keluarnya udara dari *nozzle* berperan penting dalam meningkatkan daya

dorong. Semakin besar massa aliran udara maka semakin besar pula kecepatan udara dalam *nozzle* dan semakin besar gaya dorong yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari artikel ini membahas analisis performa mesin *turbofan* tipe CFM56-3-B1 pada pesawat *Boeing 737-300* dalam kondisi penerbangan yang berbeda, termasuk minimum *idle*, *approach idle*, maximum *continuous*, dan *take-off*. Hasil analisis menunjukkan bahwa performa *fan*, *booster*, dan kompresor bertekanan tinggi (HPC) melebihi nilai idealnya karena ketidakseimbangan kompresor dan kebocoran. Kondisi ini meningkatkan suhu selama kompresi dan membutuhkan lebih banyak daya. Selama *take-off*, efisiensi termal mesin mencapai 37%, dengan gaya dorong maksimum yang dihasilkan oleh kombinasi desain *nozzle* panas dan dingin. Efisiensi mesin dipengaruhi oleh gesekan material dan kondisi lingkungan, yang menyebabkan penurunan efisiensi termal sebesar 9,59%.

Adapun rekomendasi yang dapat dibuat berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan selama prosesnya:

1. Perbedaan efisiensi termal 9,59%, yang berarti bahwa efisiensi harus ditingkatkan dalam kondisi normal.
2. Memperhatikan laju aliran massa udara mesin dingin, terutama mesin bypass, untuk meningkatkan daya dorong. Nosel tersebut dapat menghasilkan banyak gaya dorong tanpa pembakaran langsung.
3. Meningkatkan suhu ruang bakar untuk memaksimalkan sistem pendingin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelghany, E. S., Sarhan, H. H., El Saleh, A., & Farghaly, M. B. (2023). High bypass turbofan engine and anti-icing system performance: Mass flow rate of anti-icing bleed air system effect. *Case Studies in Thermal Engineering*, 45(February), 102927. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102927>
- Abrantes, I., Ferreira, A. F., Magalhães, L. B., Costa, M., & Silva, A. (2024). The impact of revolutionary aircraft designs on global aviation emissions. *Renewable Energy*, 223(January). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119937>
- ALEXANDRE, J., FREGNANI, T. G., DE MATTOS, B. S., & HERNANDES, J. A. (2020). An innovative approach for integrated airline network and aircraft family optimization. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(2), 634–663. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.10.004>
- Alfauzi, A. S., Daryadi, D., Sunarto, S., & ... (2017). Pengujian Vibrasi Pada Test Cell Turbofan Engine Type CFM 56-7B. *Jurnal Rekayasa ...*, 103–106. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/1074%0Ahttps://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/1074/865>
- CHEN, Y., ZHANG, W., ZHAO, Z., TSOUTSANIS, E., MALKOGIANNI, A., MA, Y., & GOU, L. (2025). Actuator fault diagnosis and severity identification of turbofan engines for steady-state and dynamic conditions. *Chinese Journal of Aeronautics*, 38(1), 103243. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2024.09.019>
- Doll, U., Migliorini, M., Baikie, J., Zachos, P. K., Röhle, I., Melnikov, S., Steinbock, J., Dues, M., Kapulla, R., MacManus, D. G., & Lawson, N. J. (2022). Non-intrusive flow diagnostics for unsteady inlet flow distortion measurements in novel aircraft architectures. *Progress in Aerospace Sciences*, 130(March), 100810. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2022.100810>
- Farazmand, M., Saadat, Z., & Sameti, M. (2024). Above-ground hydrogen storage: A state-

- of-the-art review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 90(October), 1173–1205. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.09.319>
- Korba, P., Balli, O., Caliskan, H., Al-Rabeei, S., & Kale, U. (2023). Energy, exergy, economic, environmental, and sustainability assessments of the CFM56-3 series turbofan engine used in the aviation sector. *Energy*, 269(December 2022), 126765. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126765>
- MA, Y., DU, X., & SUN, X. (2022). Adaptive modification of turbofan engine nonlinear model based on LSTM neural networks and hybrid optimization method. *Chinese Journal of Aeronautics*, 35(9), 314–332. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.11.005>
- Mitici, M., de Pater, I., Barros, A., & Zeng, Z. (2023). Dynamic predictive maintenance for multiple components using data-driven probabilistic RUL prognostics: The case of turbofan engines. *Reliability Engineering and System Safety*, 234(February), 109199. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109199>
- Moirou, N. G. M., Sanders, D. S., & Laskaridis, P. (2023). Advancements and prospects of boundary layer ingestion propulsion concepts. *Progress in Aerospace Sciences*, 138(February), 100897. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2023.100897>
- Prayitno, I. H., St, S., Sakti, G., Zulkarnain, M. T. I. A., Hendri, M. M., & Latif, L. (2024). *Aircraft Maintenance Management*.
- Tiwari, S., Pekris, M. J., & Doherty, J. J. (2024). A review of liquid hydrogen aircraft and propulsion technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 57(January), 1174–1196. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.12.263>
- Vértesy, D. (2017). Preconditions, windows of opportunity and innovation strategies: Successive leadership changes in the regional jet industry. *Research Policy*, 46(2), 388–403. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.09.011>
- XIN, Z., CHEN, Z., GU, W., WANG, G., TAN, Z., LI, D., & ZHANG, B. (2019). Nacelle-airframe integration design method for blended-wing-body transport with podded engines. *Chinese Journal of Aeronautics*, 32(8), 1860–1868. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.06.009>
- YANG, X., JIAN, M., DONG, W., & XU, Q. (2023). Simulation of the secondary air system of turbofan engines: Insights from 1D-3D modeling. *Chinese Journal of Aeronautics*, 36(1), 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2022.06.018>
- Zhang, J., Roumeliotis, I., & Zolotas, A. (2022). Model-based fully coupled propulsion-aerodynamics optimization for hybrid electric aircraft energy management strategy. *Energy*, 245, 123239. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123239>