



Optimalisasi Kecepatan Jelajah Berbasis Indeks Biaya dalam Pelatihan Penerbangan: Studi pada Cessna 172SP di Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi

Cost Index-Based Cruise Speed Optimization in Flight Training: A Study on the Cessna 172SP at the Indonesian Aviation Academy Banyuwangi

Rochmad Setiawan^{1*}, Prasetyo Iswahyudi², Ahmad Mubarak³, Imam Fadila⁴

¹⁻⁴Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi, Operasi Pesawat Udara, Kementerian Perhubungan, Indonesia

Email: inc.razer@gmail.com^{1*}

Alamat: Bandar Udara Internasional Banyuwangi, Kompleks, Jl. Pantai Blimbingsari, Dusun Krajan, Blimbingsari, Kec. Rogojampi, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur 68462, Indonesia

*Korespondensi Penulis

Artikel Histori:

Naskah Masuk: 12 Agustus 2025;

Revisi: 26 Agustus 2025;

Diterima: 10 September 2025;

Tersedia: 12 September 2025;

Keywords: Cost Index; Cruise Optimization; Efficiency; Flight Dispatch; General Aviation.

Abstract. In general aviation (GA) training, particularly on piston engine aircraft such as the Cessna 172 SP, cruising speed decisions are typically based on established standard procedures or instructor judgment, without economic calculations. This study introduces the Cost Index General Aviation (CIGA), adapted from airline operations, to enable more accurate and data-driven cruising speed selection. The study uses operational data from the Indonesian Civil Pilot Academy, Banyuwangi, and applies multiple linear regression (MLR), sensitivity analysis, and descriptive analytics to model the relationship between flight time, fuel consumption, and operating costs. CIGA is the ratio of the cost of time (instructor wage per hour) to the price of fuel, expressed in liters per hour. This index acts as a dynamic decision threshold: when the additional fuel burn per hour from a higher cruising speed is less than the CIGA value, flying at a higher speed is more cost-effective; when it exceeds the CIGA, flying at a slower speed is more economical. This study simulated flight patterns at various engine rpm levels between 2200 – 2650 rpm and found that 2400 rpm provided optimal performance under balanced operating conditions. A sensitivity analysis showed that fuel price had the greatest impact on profitability, followed by instructor wages and maintenance costs. The results indicate that the CIGA system can be a practical decision support tool for managerial, finance, instructors and operators, offering cost savings of up to 12% per sortie for training purpose. This research contributes to the development of cost-effective, data-driven operations in the general aviation training environment.

Abstrak

Dalam pelatihan penerbangan umum (*General Aviation*), terutama pada pesawat bermesin piston seperti Cessna 172 SP, keputusan mengenai kecepatan jelajah biasanya didasarkan pada prosedur standar atau pertimbangan instruktur, tanpa melibatkan perhitungan ekonomi. Penelitian ini memperkenalkan Indeks Biaya Penerbangan Umum (CIGA), yang diadaptasi dari operasional maskapai penerbangan, untuk memungkinkan pemilihan kecepatan jelajah yang lebih akurat dan berbasis data. Studi ini menggunakan data operasional dari Akademi Penerbang Sipil Indonesia di Banyuwangi dan menerapkan analisis regresi linier berganda, analisis sensitivitas, dan analisis deskriptif untuk memodelkan hubungan antara waktu penerbangan, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional. CIGA didefinisikan sebagai rasio biaya waktu (gaji instruktur per jam) terhadap harga bahan bakar, dinyatakan dalam liter per jam. Indeks ini berfungsi sebagai ambang batas keputusan yang dinamis: ketika pembakaran bahan bakar tambahan per jam akibat kecepatan jelajah yang lebih tinggi lebih kecil

dari nilai CIGA, terbang dengan kecepatan lebih tinggi menjadi lebih hemat biaya; sebaliknya, ketika melebihi CIGA, terbang dengan kecepatan lebih rendah menjadi lebih ekonomis. Penelitian ini mensimulasikan pola penerbangan pada berbagai tingkat putaran mesin (rpm) antara 2200 – 2650 rpm dan menemukan bahwa 2400 rpm memberikan kinerja optimal di bawah kondisi operasional yang seimbang. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa harga bahan bakar memiliki dampak terbesar pada profitabilitas, diikuti oleh gaji instruktur dan biaya perawatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem CIGA dapat menjadi alat pendukung keputusan yang praktis bagi manajemen, keuangan, instruktur dan operator, menawarkan penghematan biaya hingga 12% per sorti dalam lingkup pelatihan penerbang. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan operasi yang hemat biaya dan berbasis data di lingkungan pelatihan penerbangan umum.

Kata kunci: Efisiensi; Indeks Biaya; Operasi Penerbangan; Optimasi Jelajah; Penerbangan.

1. LATAR BELAKANG

Dalam dunia penerbangan, efisiensi operasional telah lama menjadi fokus utama pengambilan keputusan, terutama terkait biaya dan waktu. Dalam operasional maskapai penerbangan besar, efisiensi ini dimodelkan secara sistematis melalui konsep Indeks Biaya (Cost Index/CI), yaitu rasio antara biaya yang berhubungan dengan waktu dan biaya yang berhubungan dengan bahan bakar. Konsep ini diterapkan dalam sistem otomatis seperti Flight Management System (FMS) (pada Airbus). Sistem ini memungkinkan pilot dan operator untuk menentukan kecepatan udara optimal yang meminimalkan total biaya penerbangan. Namun, penerapan konsep serupa dalam lingkungan penerbangan umum (general aviation/GA), khususnya dalam operasional pelatihan menggunakan pesawat bermesin piston seperti Cessna 172 SP, masih sangat terbatas atau bahkan tidak ada.

Tabel 1. Cost Index on The Aircraft.

Type	MRC	Typical	LRC
A32X	CI = 0	CI = 50-80	CI unknown
A330	CI = 0	CI = 30-60	CI unknown
A340	CI = 0	CI = 30-60	CI unknown
B737 CL	CI = 0	CI = 10-30	CI = 30
B737 NG	CI = 0	CI = 10-30	CI = 35
B744	CI = 0	CI = 25-80	CI = 230
B757	CI = 0	CI = 15-50	CI = 85
B767	CI = 0	CI = 15-50	CI = 70
B777	CI = 0	CI = 90-150	CI = 18
MD80	CI = 0	CI = 10-50	CI unknown
MD11	CI = 0	CI = 80-120	CI = 200
Cessna 172	CI unknown	CI unknown	CI unknown

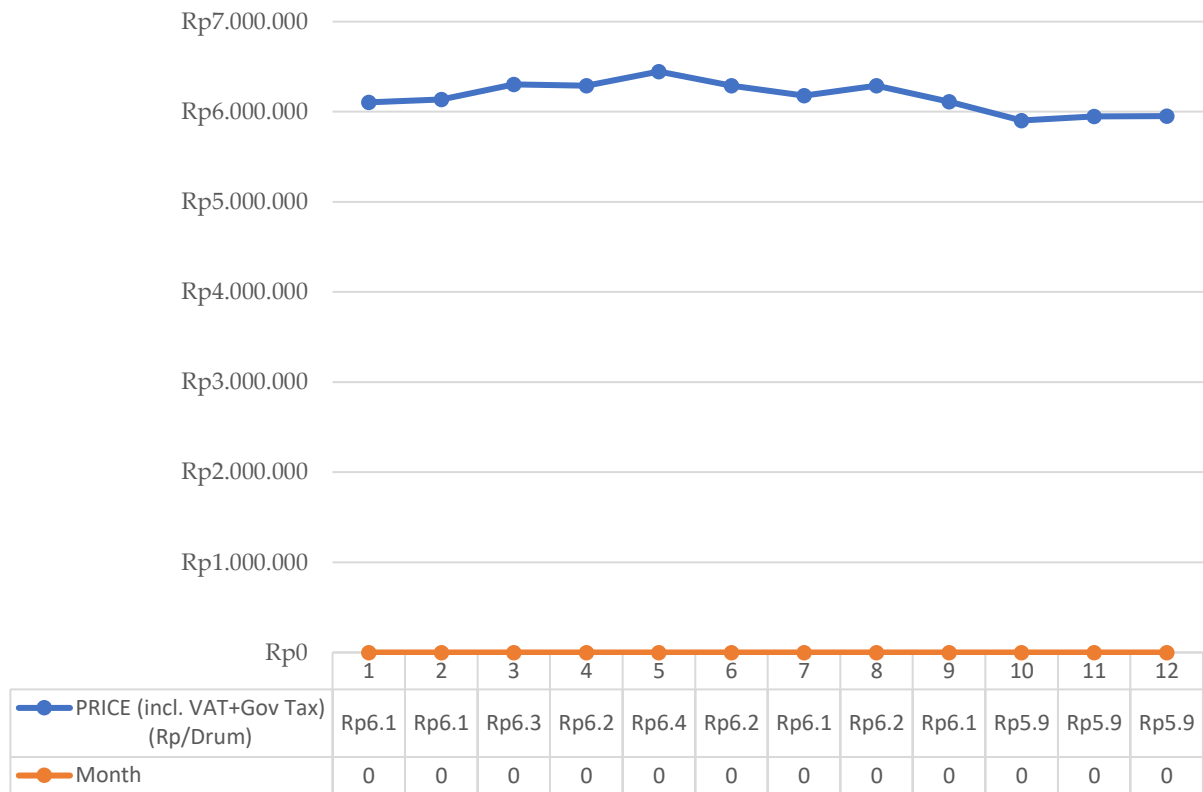
Source: Airbus, Boeing and AE Oxford ATPL Book – Flight Performance and Planning

Operasional pelatihan penerbangan untuk pesawat kecil, seperti Cessna 172 SP, umumnya tidak dilengkapi dengan sistem otomatisasi canggih layaknya flight management system (FMS). Keputusan terkait kecepatan udara dalam pelatihan saat ini lebih mengandalkan pengalaman pribadi instruktur atau putaran mesin (RPM) yang sudah ditetapkan, tanpa

memperhitungkan biaya bahan bakar aktual dan waktu penerbangan secara kuantitatif (Jeppesen, 2021; FAA).

Hal ini mengakibatkan hilangnya peluang untuk mencapai efisiensi biaya. Meskipun penghematan yang terjadi berulang kali dalam konteks pelatihan penerbangan mungkin tampak kecil, dampaknya bisa signifikan terhadap total biaya operasional akademi dan beban finansial bagi siswa. Untuk mendukung fenomena ini, data historis dari operasional pelatihan penerbangan di Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi menunjukkan fluktuasi signifikan pada komponen biaya utama, seperti harga bahan bakar avtur dan biaya waktu instruktur. Sebagai contoh, dalam satu tahun terakhir, harga avtur di Indonesia meningkat rata-rata 2%, atau berfluktuasi 2-3%, baik naik maupun turun setiap bulannya.

Tabel 2. Trendlines Fuel Price at Banyuwangi Airport 2024.

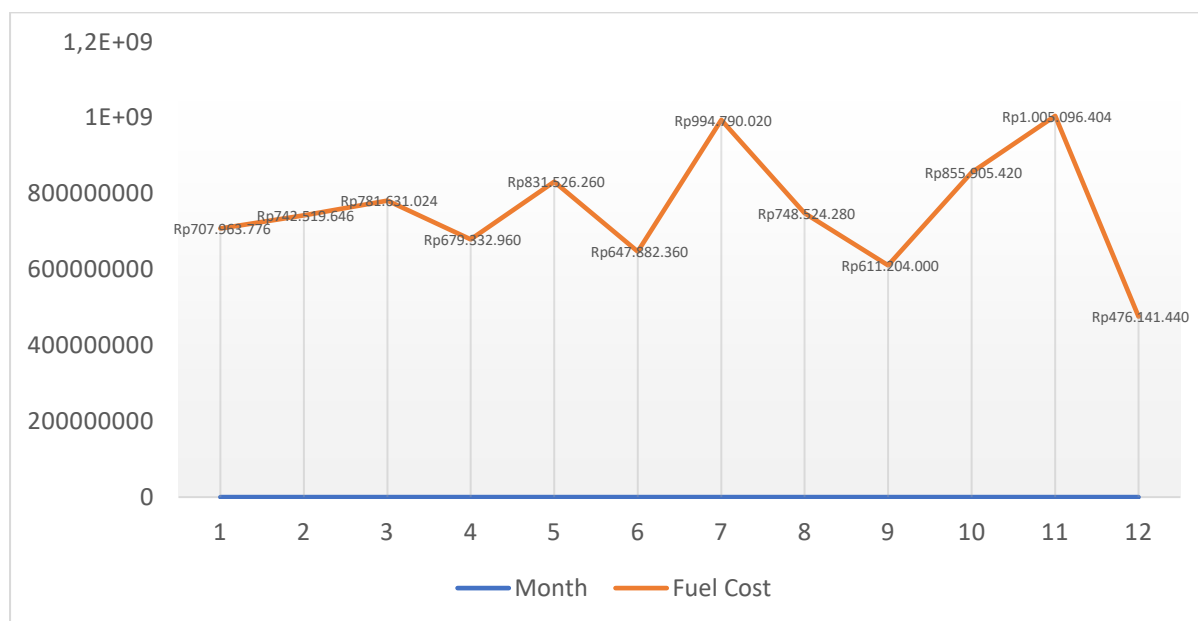


Sumber: Pertamina 2025

Demikian pula, biaya per jam untuk waktu instruktur dan perawatan pesawat juga berfluktuasi. Fluktuasi biaya ini berdampak langsung pada biaya operasional pelatihan penerbangan secara keseluruhan, menyoroti kebutuhan mendesak untuk meningkatkan model tarif penerbangan guna mencapai efisiensi biaya yang berkelanjutan.

Selain itu (H. Edwards et al., 2015) menekankan perlunya pendekatan berbasis data dalam pengambilan keputusan. Dalam konteks ini, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengadaptasi konsep indeks biaya ke lingkungan penerbangan umum, dengan mempertimbangkan karakteristik operasional penerbangan umum yang berbeda dibandingkan dengan maskapai penerbangan.

Tabel 3. Tren Harga Bahan Bakar pada Cessna 172 SP di API Banyuwangi 2024.



Konsep Indeks Biaya Penerbangan Umum yang Disesuaikan (Cost Index Adjusted General Aviation/CIGA) yang dikembangkan dalam studi ini mengatasi kesenjangan tersebut dengan menggabungkan biaya bahan bakar aktual, biaya waktu instruktur, dan data kinerja penerbangan aktual untuk memberikan rekomendasi kecepatan penerbangan maksimum yang memungkinkan. Berbeda dengan studi sebelumnya yang berfokus pada efisiensi dalam konteks maskapai penerbangan (Achenbach & Spinler, 2018) atau aspek lain dari penerbangan umum, studi ini secara spesifik berfokus pada sektor pelatihan pilot, yang umumnya memiliki infrastruktur teknologi dan anggaran yang terbatas.

Kontribusi unik dari studi ini adalah pengembangan model CIGA yang dimodifikasi berdasarkan data yang dapat langsung digunakan oleh instruktur dan perencana dalam pendidikan penerbangan di Indonesia. Ini adalah pembeda utama, karena menawarkan solusi yang praktis dan dapat diterapkan, mengisi kesenjangan dalam literatur nasional mengenai perencanaan kinerja penerbangan berbasis model kuantitatif untuk penerbangan umum, dan menyediakan dasar untuk mengembangkan prosedur operasi standar atau kurikulum berbasis efektivitas biaya dalam pelatihan pilot. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan sistem pengambilan keputusan yang memungkinkan tindakan terbaik berdasarkan data dan

biaya operasional aktual. Oleh karena itu, studi ini dapat memberikan rekomendasi untuk kecepatan awal optimal pada RPM tertentu yang paling ekonomis, menggunakan konsep indeks biaya. Sebagaimana diilustrasikan dalam kondisi sebelumnya, masalah ini dirumuskan sebagai berikut:

PR1. Bagaimana mengadaptasi dan memodifikasi konsep Indeks Biaya (CI) yang umum digunakan dalam operasional maskapai penerbangan untuk diterapkan pada operasional pelatihan penerbangan menggunakan pesawat Cessna 172 SP?

PR2. Seberapa besar pengaruh variabel kecepatan jelajah, konsumsi bahan bakar, jarak, dan waktu tempuh terhadap biaya operasional penerbangan pelatihan?

PR3. Dapatkah penggunaan model Indeks Biaya GA (CIGA) menjadi alat pengambilan keputusan yang efektif dalam menentukan profil kecepatan jelajah yang paling ekonomis dalam operasional pelatihan penerbangan?

PR4. Seberapa sensitifkah model ini terhadap perubahan biaya bahan bakar, biaya instruktur, dan parameter biaya lainnya dalam konteks dispatch dan efisiensi operasional sekolah penerbangan?

2. KAJIAN TEORITIS

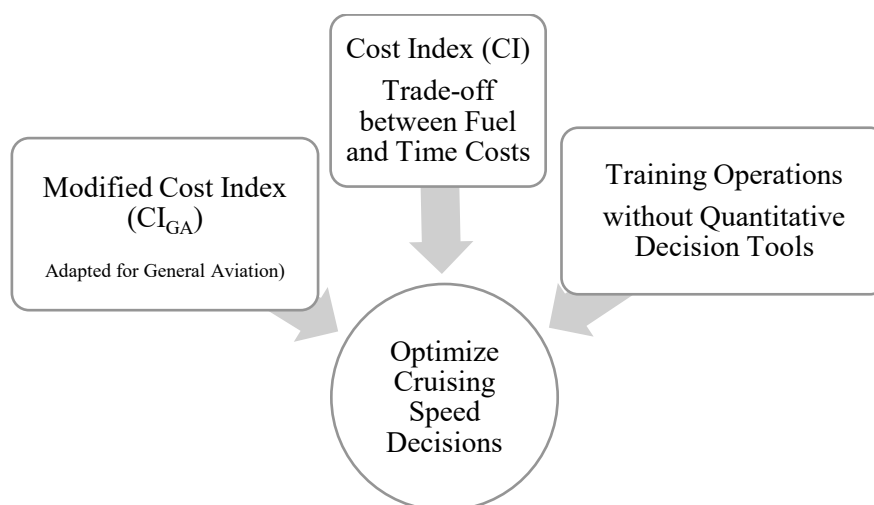
Bagian ini menguraikan teori-teori relevan yang mendasari topik penelitian dan memberikan ulasan tentang beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dan memberikan acuan serta landasan bagi penelitian ini dilakukan. Jika ada hipotesis, bisa dinyatakan tidak tersurat dan tidak harus dalam kalimat tanya.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif terapan yang didasarkan pada pendekatan pengembangan model analitis preskriptif (Keisler; Arter dan Jenkins). Penelitian ini berfokus pada perancangan model pengambilan keputusan berbasis indeks biaya yang dimodifikasi, yang memungkinkan pemberian rekomendasi kecepatan udara optimal dalam operasional pelatihan penerbangan. Pendekatan ini berfokus pada pencarian solusi praktis yang dapat diaplikasikan pada sistem perencanaan kinerja operasional di lingkungan penerbangan umum, khususnya pelatihan penerbangan menggunakan Cessna 172 SP.

Dalam ilmu data dan sistem pendukung keputusan, analitik preskriptif merupakan tingkatan tertinggi dalam hierarki analitik, setelah analitik deskriptif dan prediktif. Analitik preskriptif tidak hanya menjelaskan apa yang telah terjadi (deskriptif) atau memprediksi apa yang akan terjadi (prediktif), tetapi juga memberikan rekomendasi tindakan berdasarkan data

yang ada, perkiraan masa depan, dan tujuan yang diinginkan (Khan et al., 2025; Shahriar et al., 2022a).



Gambar 1. Kerangka Konseptual.

Dalam konteks penelitian ini, analitik preskriptif digunakan untuk memberikan saran kuantitatif mengenai RPM optimal yang menghasilkan efisiensi biaya tertinggi, berdasarkan variasi harga bahan bakar dan biaya waktu. Metodologi dalam analitik preskriptif umumnya mencakup tiga komponen utama: (1) pengumpulan dan pemrosesan data historis dan waktu nyata, (2) pengembangan model matematis atau algoritma yang mendeskripsikan hubungan antar variabel, dan (3) menghasilkan rekomendasi tindakan atau keputusan optimal berdasarkan hasil pemodelan.

Dalam penelitian ini, pendekatan ini diterapkan dengan mengumpulkan data kinerja penerbangan aktual (konsumsi bahan bakar, waktu tempuh, RPM), melakukan analisis regresi multilinear untuk menentukan dampak terhadap total biaya, dan mensimulasikan model indeks biaya untuk berbagai skenario biaya. Analitik preskriptif banyak digunakan di sektor seperti penerbangan, logistik, dan keuangan, dan kini mulai merambah ke sektor pendidikan dan pelatihan berbasis teknologi. (Sugiyono, 2013) mencatat bahwa pendekatan kuantitatif dalam penelitian terapan harus mampu memberikan kontribusi pada perbaikan sistem yang ada melalui data yang akurat dan analisis yang cermat. Oleh karena itu, pendekatan ini cocok untuk mengembangkan alat pengambilan keputusan berbasis data yang dapat digunakan oleh instruktur dan perencana penerbangan. Di tingkat nasional, pendekatan preskriptif mulai diadopsi dalam berbagai proyek kebijakan publik dan efisiensi operasional, meskipun masih relatif baru di sektor pendidikan penerbangan. Sebagai contoh, (Etherington, 1988) mencatat

bahwa analitik preskriptif memiliki potensi signifikan untuk pengambilan keputusan berbasis data di bidang transportasi dan pendidikan kejuruan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Indeks Biaya.

Konsep indeks biaya adalah pilar fundamental dari perencanaan operasional penerbangan berbasis kinerja. Indeks biaya pertama kali diterapkan secara luas dalam dokumen operasional Airbus sebagai rasio yang menggambarkan hubungan antara biaya waktu dan biaya bahan bakar. Secara matematis, indeks biaya dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Cost Index (CI)} = \frac{\text{Time Cost (USD per Hour)}}{\text{Fuel Cost (USD per Tonn)}}$$

Dalam praktiknya, flight management system menggunakan nilai CI untuk menentukan kecepatan terbang optimal berdasarkan prioritas operasional, baik itu efisiensi waktu (misalnya untuk penerbangan yang terlambat) maupun penghematan bahan bakar (misalnya untuk operasional low-cost). Nilai CI yang lebih tinggi akan membuat sistem memilih kecepatan terbang yang lebih cepat (dan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi) untuk menghemat waktu, sementara nilai CI yang lebih rendah akan menghasilkan kecepatan yang ekonomis demi efisiensi bahan bakar.

CI bukan hanya alat numerik; ia juga merupakan bagian dari strategi manajemen biaya operasional maskapai. Variasi kecepatan terbang dapat berdampak signifikan pada konsumsi bahan bakar. Oleh karena itu, banyak maskapai besar menerapkan kebijakan penyesuaian CI yang dinamis berdasarkan harga bahan bakar global, biaya kru, tingkat utilisasi pesawat, dan tingkat layanan pelanggan (Clarke et al., 2013; Shahriar et al., 2022b; Wulandari et al., n.d.) menemukan bahwa pengaturan CI yang strategis dapat mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar persentase tertentu per penerbangan, terutama untuk pesawat berbadan sempit seperti A320 dan B737. Selain dampaknya pada efisiensi ekonomi, pendekatan ini juga terbukti mampu mengurangi emisi karbon, mendukung agenda keberlanjutan industri penerbangan.

Konsep CIGA merupakan modifikasi dari formula CI yang menyesuaikan unit biaya dan biaya variabel sesuai dengan karakteristik operasional pesawat kecil. Dalam CIGA, biaya waktu direpresentasikan oleh gaji instruktur per jam ditambah perkiraan biaya konsumsi pesawat per jam, sedangkan biaya bahan bakar dihitung berdasarkan harga Avgas aktual per liter, menghasilkan formula perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Modified Cost Index (CI}_{GA}) = \frac{\text{Instructor + Aircraft Hourly Cost (USD per Hour)}}{\text{Fuel Price (USD per Galon)}}$$

Pendekatan ini bertujuan untuk menghasilkan rasio yang tetap relevan untuk menentukan apakah lebih efisien secara ekonomi bagi sekolah untuk memilih kecepatan yang lebih lambat atau lebih cepat selama pelatihan penerbangan. Studi oleh (Dagal et al., 2025) juga menekankan perlunya sistem pendukung keputusan yang berbasis logika kontrol dalam pelatihan penerbangan, menyoroti pentingnya stabilitas, efisiensi, dan respons adaptif terhadap variabel operasional.

Tabel 3. Konsep Indeks Biaya.

Context	Formula	CI Unit
Airline	USD/hour÷USD/ton	ton/hour
General Aviation	USD/hour ÷ USD/gallon	gallon/hour

Secara sederhana, jika hasil perhitungan tinggi, ini berarti waktu lebih berharga daripada bahan bakar, sehingga lebih baik terbang lebih cepat meskipun konsumsi bahan bakar lebih boros. Sebaliknya, jika hasil perhitungan rendah, ini berarti bahan bakar lebih berharga daripada waktu, sehingga lebih baik terbang lebih lambat untuk menghemat bahan bakar (CHEN et al., 2019).

Multi Linear Regression

Dalam perhitungan ini, model MLR untuk identifikasi dikembangkan dengan membuat akun baru, jangka panjang, dan total indeks agregat (Sugiyono). Untuk itu, dilakukan analisis sensitivitas, termasuk orang-orang yang telah didiagnosis sebelumnya, dan model yang mencakup parameter variabel independen dan variabel dependen. Variabel-variabel yang diterbitkan dalam topik ini adalah:

Tabel 5. Multi Linear Regression.

Variable Types	Variables			Unit
Dependent Variable	Total	Operating	Cost per	USD
Independent Variable	Flight			
	Distance			Nautical Miles
	RPM			RPM
	Average Speed			KIAS
	Fuel Use			g/h
	Fuel Flow Rate			Liter/h
	Flight Time			Hours
	Fuel Cost			USD
	Time Cost			USD
	Cost Index			L/hr

Tabel 6. Model Regression Summary.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.990 ^a	.981	.967	1.680
a. Predictors: (Constant), TotalCost, RPM, FuelFlow, AveSpeed, TimeCost				

Adjusted R Square .967 yang berarti terdapat hubungan yang kuat antara variable diatas (Dan, n.d.; Sugiyono, 2013).

Analisis Preskriptif

Optimisasi

Biaya per jam pesawat diturunkan dari asumsi keuangan aktual dan diterapkan pada *general aviation*. (Fiet, 2007; Shahriar et al., 2022b):

$$\text{Total Cost} = C_{\text{Fuel}} + C_{\text{Maintenance}} + C_{\text{Depreciation}} + C_{\text{Insurance}} + C_{\text{Misc}}$$

Yang mana:

- Cost of Fuel (bergantung pada harga fuel)
- Cost of Maintenance

$$C_{\text{Maintenance}} = \frac{\text{Overhaul Cost (USD)}}{\text{TBO (hrs)}} + \text{Misc Scheduled Cost per Hour}$$

- Cost of Depreciation (133jets, n.d.)

$$C_{\text{Depreciation}} = \frac{\text{Aircraft Purchase Price} - \text{Resale Value}}{\text{Useful life in Hours}}$$

- Cost of Insurance

$$C_{\text{Insurance}} = \frac{\text{Annual Premi (USD)}}{\text{Annual Hours Flown}}$$

Example of Calculations

Tabel 7. Example of Calculations.

Parameter	Value
Purchase Year	2015
Current Year	2025
Aircraft Age	10 Years
Purchase Price	USD 400.000
Estimated Resale Value	USD 200.000 (after 10 years)
Daily Usage	4 – 6 hours (avg: 5 hours/day)
Days Flown/Year	300
Annual Flight	5 x 300 = 1500 hours/year

Total hours in 10 years	15.000 hours
Source: API Banyuwangi (2025)	

$$C_{\text{Depreciation}} = \frac{400.000 - 200.000}{15.000}$$

$$C_{\text{Depreciation}} = \frac{200.000}{15.000} = \$13.33/\text{hour}$$

And the result of Calculation is

Tabel 8. Result of Calculations.

Component	Cost (USD/hour)	Explain
Deprecation	13.33	Aircraft loses value from \$400,000 to \$200,000 over 10 years / 15,000 hours
Engine Reserve	12.50	Overhaul cost of \$25,000 every 2,000 hours (TBO)
Scheduled Maintenance	5.00	Oil, filters, inspections, wear, etc.
Total Maintenance	17.50	Engine reserve + scheduled (12.50 + 5.00)
Insurance	3.33	Annual insurance cost of \$5,000 ÷ 1,500 hours
Total Cost Aircraft hourly	34.17/hour	Excludes fuel and instructor; pure aircraft operating cost

Pada pesawat komersial, Indeks Biaya (Cost Index) dihitung antara 5 hingga 200, bergantung pada harga bahan bakar dan prioritas penerbangan. (Airbus, 2002).

Permodelan Kecepatan Jelajah

Dalam penelitian ini, putaran per menit (RPM) menjadi variabel keputusan utama yang menentukan konsumsi bahan bakar dan durasi penerbangan. Permodelan ini dilengkapi dengan data empiris dari observasi lapangan, seperti data aliran bahan bakar pada RPM yang berbeda, harga avtur terkini, dan rata-rata waktu penerbangan pada rute pelatihan yang beragam dalam kondisi tertentu (Madjid et al., 2025): (a) Aliran Bahan Bakar (Fuel Flow) berdasarkan POH C172 G1000: 26,1 L/jam (85 KIAS), 29,5 L/jam (95 KIAS), 34,0 L/jam (105 KIAS). (b) Harga Avgas di Banyuwangi: rata-rata \$7/galon AS. (c) Biaya Waktu Instruktur: US\$30 per jam (data internal dari API Banyuwangi).

Total biaya per sortie dihitung berdasarkan kombinasi bahan bakar yang digunakan dan indeks biaya waktu.

Tabel 9. Model rata-rata kecepatan.

AveSpeed (KIAS)	Explain	Fuel Flow/h	Use Case
85	Low	26.1 L/h	Maximum Endurance
95	Med	29.h L/h	Balance
105	Hi	34.0 L/h	Time Sensitive

Dengan model ini, operator dan instruktur dapat membuat keputusan kecepatan udara berbasis data, menggunakan CIGA sebagai tolok ukur yang dinamis. Ketika peningkatan konsumsi bahan bakar pada kecepatan tinggi berada di bawah ambang batas CIGA (dinyatakan dalam galon/jam), secara ekonomi masuk akal untuk memilih pengaturan kecepatan udara yang lebih cepat. Sebaliknya, ketika peningkatan konsumsi bahan bakar melebihi penghematan waktu, pengaturan yang lebih lambat menjadi optimal.

Struktur pemodelan ini tidak hanya sejalan dengan prinsip perencanaan kinerja tingkat maskapai, tetapi juga menyediakan solusi yang skalabel dan minim teknologi untuk lingkungan pelatihan penerbangan umum yang sadar biaya, yang misinya adalah "memprediksi hal yang tidak terduga"(Mirdeklis & Putra, n.d.).

Analisis Sensitivitas

Untuk model atau rekomendasi yang sangat sensitif, ini berarti, "Mungkinkah ada biaya tambahan sebesar 25%? Mungkinkah target CI bisa lebih ekonomis?" Analisis sensitivitas mencakup faktor atau parameter yang disebutkan (Muanley et al., 2022; Wulandari et al., n.d.). Analisis ini dilakukan tanpa satu parameter pun pada suatu waktu untuk tidak mendorong investasi alternatif. Parameter variabel yang dibuat dengan menyimpan data dalam studi ekonomi teknis adalah investasi komersial, biaya investasi, arus kas, nilai sisa, suku bunga, tarif pajak, dan sebagainya (Wulandari et al., 2018).

Tabel 10. Perimeter Perhitungan.

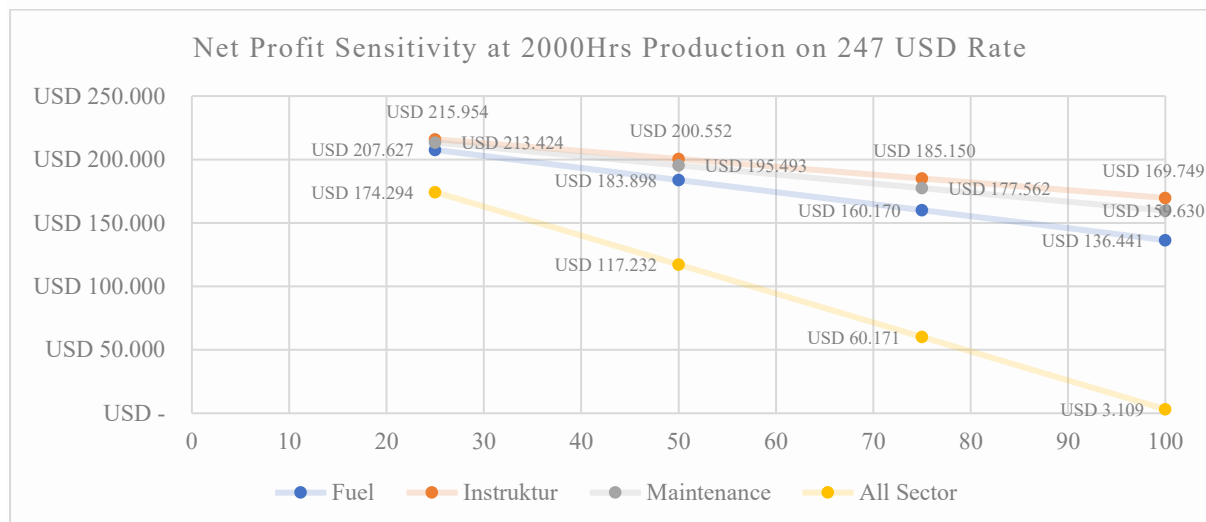
Input	Test Range
Fuel Price Instructor Cost Engine Maintenance	Increase amount 25%, 50%, 75% and 100%

Untuk menilai kelangsungan ekonomi operasional pelatihan penerbangan umum, analisis sensitivitas dilakukan dengan berfokus pada dampak fluktuasi komponen biaya utama—biaya bahan bakar, biaya instruktur, dan biaya perawatan—terhadap margin laba

bersih. Analisis ini didasarkan pada skenario dasar 2.000 jam terbang per tahun, dengan harga jual US\$282 per jam terbang (Mirdeklis & Putra, n.d.).

Simulasi mengasumsikan peningkatan proporsional pada setiap komponen biaya mulai dari 0% hingga 100%, sambil menjaga semua variabel lain konstan. Hasilnya divisualisasikan pada gambar di bawah (lihat grafik), di mana setiap garis mewakili efek dari peningkatan bertahap pada kategori biaya tertentu terhadap total laba bersih.

Tabel 11. Analysis Sensitivity.



Biaya bahan bakar diidentifikasi sebagai pendorong paling sensitif terhadap penurunan laba bersih. Peningkatan harga bahan bakar sebesar 50% menghasilkan penurunan laba yang signifikan, melebihi \$20.000. Temuan ini menggarisbawahi peran penting efisiensi bahan bakar dan pengendalian biaya dalam menjaga keberlanjutan finansial (H. Edwards et al., 2015; H. A. Edwards et al., 2016). Upah instruktur juga memiliki dampak signifikan, meskipun tidak separah bahan bakar. Ini menunjukkan bahwa manajemen sumber daya manusia, seperti mengoptimalkan utilisasi infrastruktur dan penjadwalan, dapat memberikan dampak signifikan pada margin operasional. Biaya perawatan, meskipun strukturnya besar, kurang sensitif. Dampaknya terhadap laba bersih tetap relatif kecil di seluruh skenario peningkatan. Ini menunjukkan bahwa bahkan dengan peningkatan biaya perawatan, operasi tetap berkelanjutan secara ekonomi, asalkan faktor lain terkendali.

Saat biaya bahan bakar dan upah instruktur meningkat, terjadi inkonsistensi sistem biaya: (1) Peningkatan harga bahan bakar → CI_{GA} menurun → menyarankan penggunaan kecepatan jelajah yang lebih lambat untuk menghemat bahan bakar. (2) Peningkatan upah instruktur → CI_{GA} meningkat → menyarankan penggunaan kecepatan jelajah yang lebih cepat untuk menghemat waktu.

Oleh karena itu, skenario ini menempatkan pengambilan keputusan di zona "Operasi Seimbang (Balanced Ops)", di mana bahan bakar yang terbakar lebih per jam.

Pengambilan Keputusan

Tidak ada target CI universal; sebaliknya, CI yang tepat bergantung pada lingkungan ekonomi saat ini (Jung & World, n.d.).

Tabel 12. Batasan.

Scenario	When to Use	What CI Implies
Fuel price high (e.g. crisis)	Save fuel	CI < 1
Time critical (e.g. weather closing in)	Save time	CI > 2
Balanced ops (training school)	Stable ops	CI between 1-2

(1) Jika harga bahan bakar kurang dari \$1,90/liter, sebaiknya terbang lebih cepat. (2) Jika harga bahan bakar lebih dari \$1,90/liter, sebaiknya terbang lebih lambat.

Dalam penelitian ini, peneliti mencoba membuat skenario dengan asumsi terbang pada ketinggian 6.000 kaki dengan kondisi angin dan suhu netral (angin 0 Knot dan rata-rata suhu 30 derajat Celcius).

Tabel 13. Perhitungan Indeks Biaya.

Route	RPM	Speed (TAS)	Distance (NM)	Fuel Flow (l/h)	Flight Time (m)	Fuel Used (g/h)	Fuel Cost (usd)	Time Cost per minute (usd)	Total Cost (usd)	CI _{GA} Target (g/h)	CI _{GA} (g/h)	Decision
WADY-WADS	2200	94	185	25	118	49	\$ 383	\$ 137	\$ 520	1,22	0,36	Save Fuel
WADY-WADS	2400	108	185	31	103	53	\$ 449	\$ 131	\$ 580	1,22	0,29	Save Fuel
WADY-WADS	2650	122	185	39	91	59	\$ 540	\$ 124	\$ 664	1,22	0,23	Save Fuel
WADY-WADL	2200	94	250	25	160	67	\$ 518	\$ 185	\$ 703	1,22	0,36	Save Fuel
WADY-WADL	2400	108	250	31	139	71	\$ 607	\$ 177	\$ 784	1,22	0,29	Save Fuel
WADY-WADL	2650	122	250	39	123	80	\$ 730	\$ 168	\$ 897	1,22	0,23	Save Fuel
Local to Genteng	2500	95	93	23	58	22	\$ 159	\$ 63	\$ 223	1,22	0,40	Save Fuel
Local to Silir	2500	95	97	23	61	23	\$ 167	\$ 67	\$ 234	1,22	0,40	Save Fuel
Local to Cluring	2500	95	94	23	59	22	\$ 161	\$ 64	\$ 225	1,22	0,40	Save Fuel
Local to Panggan g Bay	2500	95	93	23	59	22	\$ 160	\$ 64	\$ 223	1,22	0,40	Save Fuel
Local to Muncar	2500	95	95	23	60	22	\$ 163	\$ 65	\$ 227	1,22	0,40	Save Fuel

Local to Plengkun g	2500	95	101	23	63	24	\$ 173	\$ 69	\$ 242	1,22	0,40	Save Fuel
Local Overhea d	2500	95	95	23	60	23	\$ 164	\$ 65	\$ 229	1,22	0,40	Save Fuel

CI_{GA} dihitung sebagai rasio upah per jam instruktur terhadap harga bahan bakar saat ini, dinyatakan dalam galon per jam. Nilai ini berfungsi sebagai ambang batas untuk menentukan apakah terbang lebih cepat (dan membakar lebih banyak bahan bakar) dibenarkan oleh penghematan waktu. Dengan menggunakan kerangka kerja ini, total biaya operasional diperkirakan untuk tiga profil RPM jelajah antara 2200 – 2650. Data aliran bahan bakar dan waktu terbang diperoleh dari simulasi kinerja pesawat dan data durasi sortie, sementara harga bahan bakar dan biaya instruktur.

Tabel 14. Potensi Penghematan.

RPM	Environment CI _{GA}	Var CI _{GA}	Potential Savings
2200 (Long XC Econ Speed)	83	70	15%
2400 (Long XC Med Speed)	82	69	15%
2500 (Local)	74	68	8%
2650 (Long XC Hi Speed)	81	68	14%

Simulasi ini bertujuan untuk mengukur efisiensi ekonomi dari pengaturan jelajah yang berbeda dengan menghitung total biaya per jam terbang pada berbagai konfigurasi RPM. Komponen biaya mencakup upah instruktur berdasarkan waktu dan konsumsi bahan bakar, yang dimodelkan di bawah skenario Indeks Biaya Umum (CI_{GA}) yang rendah dan tinggi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis ini mengungkapkan hierarki yang jelas dari indeks biaya berdasarkan kecepatan jelajah dalam penerbangan umum, dengan volatilitas harga bahan bakar sebagai yang paling berdampak, diikuti oleh kompensasi instruktur, dan terakhir, biaya perawatan. Wawasan ini sangat penting bagi operator sekolah penerbangan di Indonesia dan pasar serupa di mana kontrol harga terbatas dan biaya input rentan terhadap kekuatan pasar.

Selanjutnya, hasil penelitian ini mendukung penerapan model optimasi jelajah berbasis indeks biaya (CI_{GA}), yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar berlebih dengan memandu keputusan kecepatan jelajah. Dengan mengadopsi profil jelajah yang hemat bahan bakar dan memanfaatkan kontrol biaya berbasis data, organisasi dapat mengurangi efek negatif dari volatilitas harga dan meningkatkan profitabilitas jangka panjang.

Analisis regresi multilinear (MLR) memberikan bukti statistik, menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara variabel independen (Total Biaya, RPM, Aliran Bahan Bakar, Kecepatan Jelajah, dan Biaya Waktu) dan variabel dependen CI_{GA} . Dengan R-square yang disesuaikan sebesar 0,967, model ini menegaskan bahwa faktor-faktor tersebut secara kolektif memberikan pengaruh signifikan terhadap total biaya operasional pelatihan jelajah (Dan; Sugiyono).

Hal ini menyoroti pentingnya mengelola variabel-variabel ini untuk mencapai operasi yang hemat biaya. Analisis sensitivitas mengungkapkan hierarki yang jelas dari pendorong biaya yang memengaruhi laba bersih, yang sangat penting untuk dispatch dan efisiensi operasional. Volatilitas biaya bahan bakar diidentifikasi sebagai faktor paling berpengaruh, dengan peningkatan 50% menghasilkan penurunan laba yang signifikan (lebih dari US\$20.000), menggarisbawahi peran penting efisiensi bahan bakar (H. Edwards et al., 2015)

Upah instruktur juga memiliki dampak signifikan, meskipun tidak separah bahan bakar, menunjukkan pentingnya meningkatkan manajemen sumber daya manusia. Biaya perawatan, meskipun substansial dalam struktur, adalah yang paling tidak sensitif, menunjukkan keberlanjutan ekonomi bahkan saat pengeluaran meningkat. Sebuah wawasan kunci adalah konflik yang muncul ketika harga bahan bakar naik (menunjukkan kecepatan yang lebih lambat) dan upah pelatih naik (menunjukkan kecepatan yang lebih cepat), yang mengarah pada keputusan dalam rentang "operasi seimbang" (Keisler, n.d.; Wulandari et al., n.d.). Analisis ini menyediakan kerangka kerja praktis untuk penyesuaian strategis dalam perencanaan jelajah dan alokasi sumber daya untuk meningkatkan fleksibilitas operasional dalam menghadapi volatilitas biaya. Temuan ini menggarisbawahi perlunya mengintegrasikan perencanaan keuangan berbasis data ke dalam dispatch harian dan pengambilan keputusan pelatihan.

Tabel 15. Aturan praktis pengambilan Keputusan.

Condition	Profile
$CI_{GA} < 1$	Fuel Save (2200 RPM)
$CI_{GA} 1 - 2$	Stable Ops (2400 RPM)
$CI_{GA} > 2$	Time Save (2600 RPM)
Fuel Price Rising	Fly Slower
Instructor Wage Rising	Fly Faster
Long-Cross Country / Weather Risk / Airport Close	Fly Faster
Short-Mission / Maneuver Practice	Stable Ops / Fuel Save

Simulasi menunjukkan bahwa terbang pada 2400 RPM biasanya menghasilkan hasil yang paling seimbang. Namun, tergantung pada apakah harga bahan bakar tinggi (CI_{GA} rendah) atau upah instruktur tinggi (CI_{GA} tinggi), RPM optimal secara ekonomi bergeser. Pada 2200

RPM, total biaya per sortie adalah yang terendah di bawah kondisi CI_{GA} rendah (prioritas penghematan bahan bakar), sementara 2600 RPM lebih efisien di bawah kondisi CI_{GA} tinggi (prioritas penghematan waktu). Perbedaan total biaya sortie antara profil RPM ini berkisar dari 5% hingga 12%, memvalidasi sensitivitas model terhadap variabel input ekonomi dan mengesahkan penerapannya sebagai alat pendukung keputusan.

DAFTAR REFERENSI

- Achenbach, A., & Spinler, S. (2018). Prescriptive analytics in airline operations: Arrival time prediction and cost index optimization for short-haul flights. *Operations Research Perspectives*, 5, 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.08.004>
- Airbus. (2002). *A320 getting to grips with aircraft performance* (Telex AIRBU 530526F SITA TLSBI7X). Airbus.
- Chen, X., Huang, J., & Yi, M. (2019). Development cost prediction of general aviation aircraft projects with parametric modeling. *Chinese Journal of Aeronautics*, 32(6), 1465–1471. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.024>
- Clarke, J. P., Brooks, J., Nagle, G., Scacchioli, A., White, W., & Liu, S. R. (2013). Optimized profile descent arrivals at Los Angeles International Airport. *Journal of Aircraft*, 50(2), 360–369. <https://doi.org/10.2514/1.C031529>
- Dagal, I., Erol, B., Harrison, A., Mbasso, W. F., & Ibrahim, A. W. (2025). Enhancing dynamic control and stability assessment of Cessna 172 aircraft with a PID controller for new pilot trainees. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s42405-025-00899-6>
- Edwards, H. A., Dixon-Hardy, D., & Wadud, Z. (2016). Aircraft cost index and the future of carbon emissions from air travel. *Applied Energy*, 164, 553–562. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.058>
- Edwards, H., Dixon-Hardy, D., & Wadud, Z. (2015). Optimisation of aircraft cost indices to reduce fuel use. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 229(1), 55–74. <https://doi.org/10.1177/0954410014537267>
- Etherington, R. E. (1988). General aviation cost effectiveness. *Journal of Aircraft*, 25(10), 890–896. <https://doi.org/10.2514/3.45676>
- Fiet, J. O. (2007). A prescriptive analysis of search and discovery. *Journal of Management Studies*, 44(4), 592–611. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2006.00671.x>
- Jung, H., & World, A. (n.d.). Data-driven decision-making processes, data services and applications for global aviation safety. *International Telecommunication Union*. <https://www.itu.int/en/journal/002/Pages/default.aspx>
- Keisler, J. M. (n.d.). *Prescriptive analytics: Mastering the spreadsheet of everything*. Springer Texts in Business and Economics.
- Khan, T. A., Ali, S. M., Ali, K. M., Aziz, A., Ahmad, S., Anwar, A., & Khan, S. A. (2025). Harnessing artificial intelligence for optimum performance in industrial automation. *Proceedings of the 1st International Conference on Industrial, Manufacturing, and Process Engineering (ICIMP-2024)*, 105. <https://doi.org/10.3390/engproc2024076105>

- L33jets. (n.d.). *What is aircraft depreciation? | Aircraft bonus depreciation*. Retrieved June 5, 2025, from <https://l33jets.com/resources/blog/what-is-aircraft-depreciation/>
- Madjid, A. G. M., Arifin, M., & Julizar, A. (2025). Analysis of fuel consumption for cruising flight of Cessna 172 based on speed variations. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 10(1), 48–55. <https://doi.org/10.35894/jtk.v10i1.243>
- Mirdeklis, S., & Putra, B. (n.d.). *Ekonomi teknik: Analisis sensitivitas dan break even point*.
- Muanley, Y. Y., Son, A. L., Mada, G. S., & Dethan, N. K. F. (2022). Analisis sensitivitas dalam metode analytic hierarchy process dan pengaruhnya terhadap urutan prioritas pada pemilihan smartphone Android. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 4(3), 173–190. <https://doi.org/10.35580/variensiunm32>
- Roberson, B. (n.d.). *Fuel conservation strategies: Cost index explained*.
- Shahriar, A., Khandoker, A., Gessl, G., Sint, S., Hamid, M. A., Tariq, A., & Rahman, A. (2022). Predicting the unpredictable: General aviation (GA) aircraft cost estimation evaluation. *Journal of Air Transport Management*, 102, 102221. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102221>
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (19th ed.). Alfabeta. https://digilib.stekom.ac.id/assets/dokumen/ebook/feb_35efe6a47227d6031a75569c2f3f39d44fe2db43_1652079047.pdf
- Wulandari, L., Siregar, H., & Tanjung, H. (2018). Analisis investasi dan sensitivitas unit usaha pembiayaan syariah menuju spin off (Studi kasus: Adira Finance). *Al-Muzara'ah*, 5(2), 125–133. <https://doi.org/10.29244/jam.5.2.125-133>