

Rancang Bangun Alat Peraga Sistem Distribusi Oli pada *Gas Turbine Engine*

Firdaus Putra Alamsyah¹, Moch. Luthfi^{2*}, Muhammad Taufiq³ Adli³, Nadhif Ariq⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : firdaus.putra.aer22@polban.ac.id

^{2*}E-mail Corresponding Author : mluthfi@polban.ac.id

³E-mail : muhammad.taufiqadli.aer22@polban.ac.id

⁴E-mail : nadhif.ariq.aer22@polban.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan dan pembangunan alat peraga sistem distribusi oli pada gas turbine engine sebagai media pembelajaran interaktif di bidang aeronautika. Alat peraga ini dirancang secara representatif untuk menampilkan alur distribusi oli dalam shaft engine dan accessory gearbox pada mesin CFM56-3 yang digunakan pada pesawat Boeing 737-500. Sistem ini menggunakan media cair berupa minyak dan air guna mensimulasikan pergerakan fluida pelumas di dalam komponen mesin, sehingga mahasiswa dapat mengamati secara visual prinsip kerja pelumasan yang terjadi. Proses pengembangan dilakukan melalui tahapan literatur, observasi, desain mekanik dan elektronik, pemilihan komponen, hingga pengujian fungsional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat peraga berfungsi secara efektif dalam mendistribusikan fluida ke seluruh jalur yang direpresentasikan, sekaligus memberikan pengalaman praktik langsung kepada mahasiswa. Penggunaan alat ini terbukti meningkatkan keterlibatan mahasiswa secara aktif dan interaktif dalam proses pembelajaran, memperkuat pemahaman teknis, serta meningkatkan kemampuan analitis dalam memahami sistem pelumasan mesin pesawat secara nyata.

Kata Kunci

Gas Turbine Engine, Sistem Distribusi Oli, Alat Peraga, Pelumasan, Pembelajaran Interaktif, CFM56-3.

This study presents the design and development of a demonstrative tool for the oil distribution system in a gas turbine engine, serving as an interactive learning medium in the field of aeronautics. The demonstrator is specifically designed to represent the oil flow system within the shaft engine and accessory gearbox of the CFM56-3 engine, commonly used in the Boeing 737-500 aircraft. The system utilizes liquid media—oil and water—to simulate the lubrication fluid movement through engine components, enabling students to visually observe the working principles of aircraft lubrication systems. The development process involved literature review, observation, mechanical and electronic design, component selection, and functional testing. Test results show that the demonstrator effectively distributes fluid across all represented channels, providing students with hands-on experience. Its implementation has been proven to enhance student engagement and interactivity during the learning process, strengthen technical understanding, and improve analytical skills in comprehending real-world aircraft engine lubrication systems.

Keywords

Gas Turbine Engine, Oil Distribution System, Demonstrator, Lubrication, Interactive Learning, CFM56-3.

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi oli pada gas turbine engine telah dikenal sebagai bagian krusial dalam menjaga kinerja dan keandalan mesin pesawat. Oli digunakan sebagai pelumas, pendingin, dan media pembersih bagi komponen-komponen yang bergerak dalam kondisi ekstrem, seperti *bearing*, *gearbox*, dan *shaft engine*. Tanpa sistem pelumasan yang optimal, risiko kerusakan dan penurunan performa mesin akan meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap prinsip kerja sistem distribusi oli menjadi hal yang sangat penting, khususnya dalam bidang pendidikan teknik aeronautika (1).

Akan tetapi, sistem ini umumnya tersembunyi di dalam mesin dan sulit diamati secara langsung. Materi pembelajaran berupa teori atau ilustrasi dua dimensi seringkali tidak cukup untuk memberikan gambaran utuh

mengenai alur kerja dan interaksi antar komponen dalam sistem pelumasan. Maka dari itu, diperlukan suatu pendekatan pembelajaran yang bersifat interaktif dan aplikatif melalui penggunaan alat peraga edukatif (1).

Sebagai bentuk upaya peningkatan kualitas pembelajaran, telah dilakukan penelitian yang difokuskan pada perancangan dan manufaktur alat peraga sistem distribusi oli pada gas turbine engine. Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan, mulai dari studi literatur, penentuan desain, pemilihan komponen, proses manufaktur, hingga pengujian sistem secara fungsional. Model alat peraga dirancang dengan bentuk sederhana namun tetap mempertahankan prinsip kerja asli, sehingga mampu merepresentasikan aliran oli pada *shaft engine* maupun *gearbox* (2).

Pengujian telah dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas alat dalam mendistribusikan oli pada berbagai kondisi operasional, termasuk saat terjadi sumbatan, kebocoran, dan

perubahan temperatur. Hasil menunjukkan bahwa distribusi oli dapat divisualisasikan secara nyata, dan perubahan tekanan serta suhu dapat dimonitor secara langsung menggunakan sensor digital (3).

Melalui penelitian ini, telah dihasilkan alat peraga edukatif yang mampu memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap sistem pelumasan pesawat secara praktis dan representatif. Alat ini diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan media pembelajaran teknik aeronautika berbasis praktik (3).

2. TINJAUAN PUSTAKA

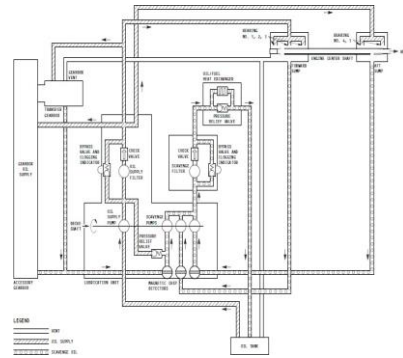
Berbagai penelitian sebelumnya menjadi dasar penting dalam pengembangan alat peraga sistem distribusi oli pada pesawat. Ippoliti dan Berten (4) dalam penelitiannya mengkaji pengaruh kondisi pipa masuk terhadap performa pompa pelumas pada mesin turbin gas. Mereka menemukan bahwa desain pipa yang tidak optimal dapat memicu kavitasi, menurunkan efisiensi pompa, serta membahayakan performa mesin secara keseluruhan. Utomo (5) merancang alat peraga distribusi oli dengan pendekatan modifikasi sistem, mencakup komponen seperti oil tank, filter, bypass, dan cooler. Hasilnya menunjukkan efisiensi distribusi oli yang meningkat melalui pengujian tekanan dan kecepatan aliran, sekaligus memperkuat nilai edukatif alat tersebut. Irmawan dan Faturachman (6) membahas pentingnya pelumasan pada Auxiliary Power Unit (APU) Boeing 737, yang jika gagal, dapat menyebabkan keausan, peningkatan suhu, hingga kerusakan mesin. Studi ini menjadi acuan untuk memahami risiko kegagalan pelumasan. Azwad et al. (7) meneliti viskositas oli pesawat King Air dan menemukan bahwa penurunan viskositas akibat suhu tinggi dapat mengurangi kemampuan oli melindungi komponen mesin. Penelitian ini relevan dalam menentukan validitas oli yang digunakan dalam simulasi sistem pelumasan, termasuk pada alat peraga.

2.1 Landasan Teori

Sistem distribusi oli pada pesawat dirancang untuk memastikan pelumasan yang optimal terhadap berbagai komponen mesin, seperti *gearbox*, *bearing*, dan bagian internal lainnya, dengan suhu dan tekanan yang telah dikendalikan secara tepat. Selain itu, sistem ini juga digunakan untuk proses pendinginan, pembersihan, serta perlindungan komponen dari keausan dan korosi. Pada pesawat dengan sistem *dry sump*, oli terlebih dahulu disimpan di dalam tangki terpisah (*oil tank*) sebelum dialirkan melalui filter dan pompa menuju komponen-komponen yang memerlukan pelumasan (15).

Sistem distribusi oli pada mesin pesawat terdiri atas tiga elemen utama, yaitu penyimpanan, penyaluran, dan pengendalian. Penyimpanan oli dilakukan di dalam tangki (*oil reservoir*) yang telah dirancang untuk memastikan pasokan oli tetap konsisten serta memungkinkan pemeriksaan langsung terhadap level oli. Ketersediaan oli untuk proses sirkulasi juga dijaga melalui tangki tersebut. Dalam hal penyaluran, oli telah didistribusikan melalui mekanisme *supply* ke berbagai komponen mesin seperti

bantalan (*bearings*) (11) dan roda gigi (*gears*) (10), yang digunakan untuk tujuan pelumasan dan pendinginan (8). Visualisasi alur tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah ini.



Gambar 1. *Schematic Oil System Distribution CFM56-3*

2.2 Komponen

Komponen yang ada pada *engine* yang termasuk *oil system*

1. *Oil Tank*
2. *Oil Filter*
3. *Oil Pump*
4. *Scavange Filter*
5. *Heat Exchanger*

2.3 Supply Operation

Tangki oli digunakan sebagai wadah penyimpanan oli yang dialirkan secara terus-menerus oleh sistem suplai. Sistem tersebut digerakkan oleh satu poros yang terhubung dengan AGB (*Accessory Gearbox*), dan menggunakan empat pompa perpindahan positif. Dari tangki, aliran oli diarahkan menuju pompa suplai yang terletak pada unit pelumasan di AGB. Setelah diberi tekanan, oli diteruskan melalui filter (12) suplai oli sebelum akhirnya didistribusikan ke *bearing* utama, *Shaft Engine radial*, dan *gearbox* (13).

2.4 Scavange Operation

Setelah proses distribusi, oli dikembalikan ke unit pelumasan melalui tiga sump. *Forward sump* digunakan untuk melayani bantalan utama No. 1, No. 2, dan No. 3, sedangkan *aft sump* digunakan untuk bantalan utama No. 4 dan No. 5. *Gearbox sump* untuk AGB menerima oli tambahan yang dialirkan dari TGB melalui pipa eksternal. Pada unit pelumasan, telah dipasang pompa pengumpul (*scavange pump*) yang dipisahkan untuk setiap *sump*. Oli kemudian dialirkan melalui salah satu dari tiga detektor serpihan magnetik (MCD) dalam unit pelumasan, sebelum akhirnya dipompa melalui filter oli pengumpul menuju penukar panas utama oli/bahan bakar (*main oil/fuel heat exchanger*) (13).

2.4 Perhitungan Temperatur Pada Oil Cooler

Dalam analisis sistem pendinginan seperti pada *oil cooler*, perubahan temperatur dihitung menggunakan dua parameter utama, yaitu *range* dan *approach*. Kedua metode tersebut dapat diadaptasikan untuk menganalisis perubahan suhu

dalam sistem distribusi oli, khususnya untuk mengevaluasi efektivitas pendinginan pada *oil cooler*.

Range temperatur didefinisikan sebagai selisih antara temperatur fluida saat masuk dan keluar dari sistem. Dalam sistem distribusi oli, parameter ini digunakan untuk menilai seberapa besar penurunan suhu oli setelah melalui *oil cooler*. Rumus yang digunakan:

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}} \quad (1)$$

Approach temperatur didefinisikan sebagai selisih antara suhu oli keluar dan suhu lingkungan sebagai acuan (*wetbulb temperature*). Pada alat peraga sederhana, *wetbulb temperature* dapat disubstitusikan dengan suhu udara sekitar sebagai pendekatan. Rumus yang digunakan:

$$\text{Approach } (^{\circ}\text{C}) = T_{\text{outlet}} - T_{\text{wetbulb}} \quad (2)$$

Setelah nilai *range* dan *approach* diperoleh, efektivitas sistem pendinginan dapat dihitung dalam bentuk persentase menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efektivitas } (\%) = \left(\frac{\text{Range}}{\text{Range} + \text{Approach}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Efektivitas ini digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem dalam menurunkan suhu oli serta menunjukkan seberapa dekat kinerja sistem dengan suhu lingkungan minimum (14).

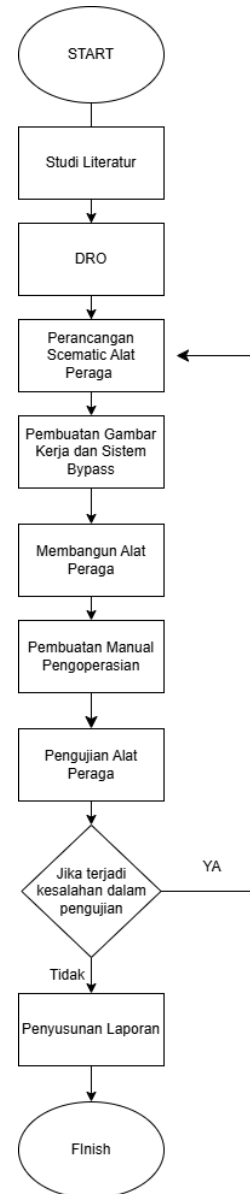
2.5 Kerja System Bypass Oil

Sistem *bypass* pada pelumasan mesin gas turbin digunakan sebagai jalur alternatif yang memungkinkan aliran oli tetap terjaga saat terjadi penyumbatan pada filter utama. *Bypass valve* telah dipasang pada *oil supply filter* maupun *scavenge filter*, dan akan terbuka secara otomatis apabila terdeteksi perbedaan tekanan yang signifikan antara sisi masuk dan sisi keluar filter. Mekanisme ini tidak dikendalikan oleh tekanan total sistem, melainkan oleh tekanan diferensial (*pressure differential*) yang terjadi di sekitar filter (9).

Apabila selisih tekanan melebihi ambang batas, yaitu 17.4–20.3 psi pada *oil supply filter* dan 36.3–39.2 psi pada *scavenge filter*, maka *bypass valve* akan diaktifkan. Dengan demikian, oli akan dialirkan langsung menuju jalur pelumasan tanpa melalui filter, sehingga kontinuitas pelumasan tetap terjaga dan risiko kerusakan komponen akibat kehilangan suplai oli dapat dicegah. Sistem ini telah dianggap sebagai salah satu proteksi penting dalam sistem pelumasan untuk memastikan mesin tetap dapat beroperasi secara andal meskipun berada dalam kondisi abnormal (9).

3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metode penyelesaian yang digunakan disusun dalam bentuk diagram alir, yang menjabarkan tahapan-tahapan pengerjaan selama proses penyelesaian penelitian. Diagram tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah ini.



Gambar 2. *Flow Chart* Penyelesaian Masalah

3.1 DRO

Tabel 1. DRO

Kategori	Kebutuhan/Tujuan Desain Fungsional
M	Sistem menunjukkan alur distribusi oli mulai dari tangki, pompa, filter, <i>accessory gearbox</i> , <i>Shaft Engine</i> , pendingin, hingga kembali ke tangki secara berurutan.
M	Sistem dapat dioperasikan dengan pompa air untuk meniru kinerja pompa oli.
W	Sistem dilengkapi panel indikator untuk membantu proses pembelajaran.
M	Alat dilengkapi dengan <i>bypass system</i> untuk menunjukkan jalur alternatif saat tekanan oli terlalu tinggi.
W	Alat dilengkapi dengan pendingin agar bisa menjadikan pendinginan yang efektif

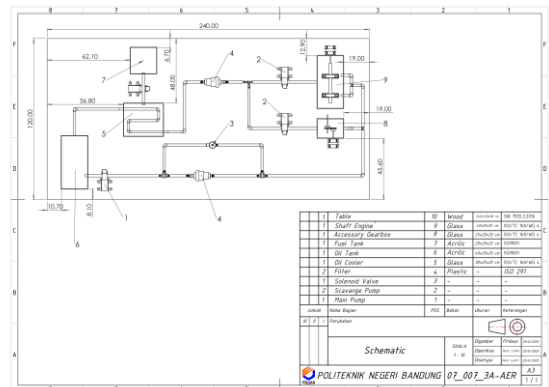
W	Setelah pompa dinyalakan tidak terjadinya kavitasi.
Operational	
W	<i>Fuel tank</i> dan <i>oil tank</i> dapat digunakan dengan sekali pengisian oli yang cukup untuk mendistribusikan kedalam komponen.
M	Sistem di lengkapi dengan manual pengoperasian alat peraga.
M	Pengoperasian alat mudah dipahami oleh mahasiswa tanpa perlu pengaturan sulit.
Struktur (Frame)	
W	Alat peraga dirancang dengan rangka berbahan alumunium ringan yang kuat agar tahan lama dan mudah dibawa.
M	Komponen pipa dan <i>fitting</i> terpasang kuat untuk mencegah getaran dan kebocoran saat pompa berkerja.
M	Semua komponen mudah diakses untuk keperluan edukasi dan pengamatan.
Keamanan	
M	Bagian jalur listrik dibuat dibawah meja untuk mencegah listrik terkena air jika terjadi kebocoran saat melakukan pengujian.
M	Sistem tidak menimbulkan kebocoran oli selama digunakan.
M	Dalam kelistrikan sistem <i>bypass</i> yang menggunakan <i>solenoid</i> dengan tegangan AC maka di butuhkan MCB agar tidak merusak pada komponen lainnya.
Produksi	
M	Komponen mudah dicari dan didapatkan di pasaran lokal (online/offline)
Instalasi	
W	Tidak memerlukan peralatan khusus untuk instalasi.
M	Semua komponen mudah dirakit
Visualisasi Edukatif	
M	Alur distribusi oli terlihat jelas untuk mendukung proses pembelajaran
Material	
M	Menggunakan bahan transparan untuk memudahkan penglihatan untuk pembelajaran.
M	Material pipa plastik yang dipakai harus bisa menahan tekanan pompa.
W	Material <i>oil tank</i> , <i>fuel tank</i> , wadah <i>accessory gearbox</i> , <i>oil cooler</i> , dan wadah <i>Shaft Engine</i> di buat menggunakan akrilik agar bisa terhindar dari bahaya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Skematik

Pelaksanaan dan pembuatan alat peraga diawali dengan tahap perencanaan dan perancangan, yang kemudian

dilanjutkan dengan penyusunan komponen menjadi satu kesatuan sistem yang utuh agar dapat dioperasikan. Setelah itu, pengujian keberhasilan sistem dilakukan. Proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. di bawah ini.

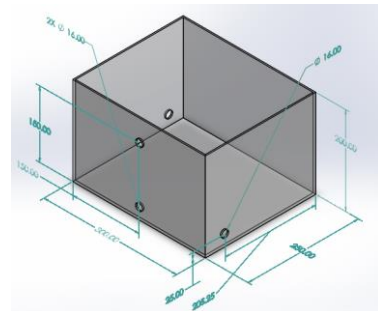


Gambar 3. Rancangan Skematik Alat Peraga

4.2 Hasil Perancangan Komponen

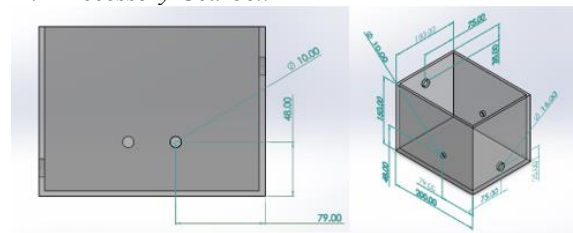
Hasil perancangan dari setiap komponen telah disederhanakan agar dapat mempermudah mahasiswa dalam memahami sistem kerja dari masing-masing komponen. Visualisasi hasil perancangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. hingga Gambar 9. di bawah ini.

1. Oil cooler



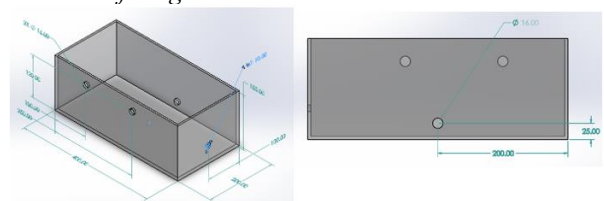
Gambar 4. Hasil Perancangan Oil Cooler

2. Accessory Gearbox



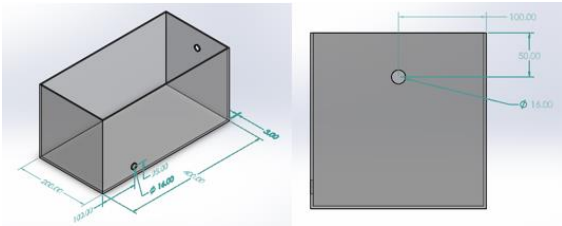
Gambar 5. Hasil Perancangan Accessory Gearbox

3. Shaft Engine



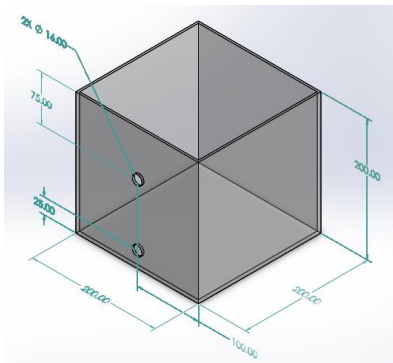
Gambar 6. Hasil Perancangan Shaft Engine

4. Oil Tank



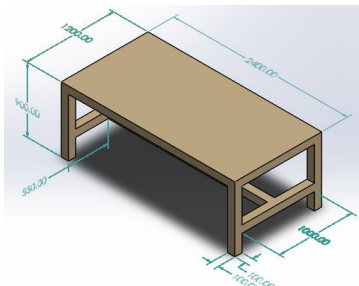
Gambar 7. Hasil Perancangan Oil Tank

5. Fuel Tank



Gambar 8. Hasil Perancangan Fuel Tank

6. Meja



Gambar 9. Hasil Perancangan Meja

4.3 Hasil Pembuatan System Bypass

Sistem *bypass* pada alat peraga distribusi oli ini telah dirancang dengan menggunakan Arduino Uno, *pressure sensor*, *relay*, *solenoid valve*, dan LCD sebagai bagian dari sistem pemantauan tekanan secara *real-time*. *Pressure sensor* dipasang pada jalur utama guna mendeteksi tekanan oli, lalu data hasil pembacaan dikirimkan ke Arduino. Nilai tekanan yang terbaca secara otomatis ditampilkan melalui LCD, sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara aktual oleh pengguna.

Apabila nilai tekanan melebihi ambang batas yang telah ditentukan, maka relay akan diaktifkan oleh Arduino. Relay tersebut berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengalirkan arus listrik ke *solenoid valve*. Setelah mendapatkan arus, *solenoid valve* akan membuka jalur *bypass*, sehingga aliran oli tetap dapat diteruskan tanpa menimbulkan tekanan berlebih dalam sistem.

4.4 Hasil Membangun Alat Peraga

Beberapa komponen pada alat peraga sistem distribusi oli telah dirancang dan diproduksi secara mandiri agar sesuai dengan fungsi edukatif serta mendukung kebutuhan visualisasi yang lebih baik. Hasil nyata dari masing-masing

komponen yang dirancang tersebut dapat dilihat pada Gambar 10. hingga Gambar 14. di bawah ini.

1. Oil Tank



Gambar 10. Hasil Membangun Oil Tank

2. Fuel Tank



Gambar 11. Hasil Membangun Fuel Tank

3. Oil Cooler



Gambar 12. Hasil Membangun Oil Cooler

4. Accessory Gearbox



Gambar 13. Hasil Membangun Accessory Gearbox

5. Shaft Engine



Gambar 14. Hasil Membangun *Shaft Engine*

4.5 Hasil Pengujian

Dalam pengujian alat peraga ini, data temperatur dan tekanan dikumpulkan pada tiga kondisi, yaitu kondisi normal, abnormal, dan saat terjadi kebocoran. Pengambilan data dilakukan berdasarkan satu siklus sirkulasi dengan durasi 55 detik. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 2. hingga Tabel 4. di bawah ini.

1. Pengujian alat peraga pada *shaft engine*

Tabel 2. Hasil Pengujian *Shaft Engine*

No	Waktu (s)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Range (°C)
1	0	27.2	26.1	-1.1
2	55	27.2	25.9	-1.3
3	110	27.3	27	-0.3
4	165	27.8	28.3	0.5
5	220	28.3	29	0.7

2. Pengujian alat peraga pada accessories gearbox

Tabel 3. Hasil Pengujian *Accessory Gearbox*

No	Waktu (s)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Range (°C)
1	0	27.2	27.5	0.3
2	55	27.2	26.5	-0.7
3	110	27.3	28.9	1.6
4	165	27.8	30.9	3.1
5	220	28.3	31.4	3.1

3. Pengujian alat peraga pada oil cooler

Tabel 4. Hasil Pengujian *Oil Cooler*

No	Waktu (s)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Range (°C)
1	0	26.8	24.1	2.7
2	55	26.2	24.2	2
3	110	27.9	25.1	2.8
4	165	29.6	27.5	2.1
5	220	30.2	28.3	1.9

No	Waktu (s)	Wetbulb (°C)	Approach (°C)	Effective
1	0	24.8	-0.7	135.00%
2	55	25	-0.8	166.67%
3	110	25.1	0	100.00%
4	165	25.3	2.2	48.84%
5	220	25.3	3	38.78%

Pada hasil penunjukkan tekanan alat peraga ini, data diperoleh pada tiga kondisi berbeda, yaitu kondisi normal,

abnormal, dan saat terjadi kebocoran. Pengambilan data dilakukan berdasarkan waktu sirkulasi selama 220 detik. Hasil pengamatan tersebut ditunjukkan pada Tabel 5. di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Penunjukkan Tekanan

No	Waktu (s)	Pressure 1 (Psi)	Pressure 2 (Psi)
1	0	15.8	12.3
2	55	12.8	13
3	110	14.9	11.1
4	165	15.9	11.9
5	220	14.2	11

4.6 PEMBAHASAN

4.6.1 Pembahasan Sistem Bypass

Dalam pembacaan tekanan (*pressure*) pada kondisi normal, rata-rata tekanan yang terukur adalah sebesar 12 psi. Untuk keperluan perancangan sistem bypass, dilakukan percobaan penyumbatan menggunakan keran yang diatur secara manual. Hasilnya menunjukkan bahwa tekanan rata-rata dapat meningkat hingga 14,72 psi. Berdasarkan nilai tersebut, pemrograman pada Arduino telah disesuaikan agar sistem dapat merespons secara otomatis.

Jika tekanan yang terbaca oleh sensor melebihi nilai ambang 14,72 psi pada *pressure sensor* 1, maka perintah akan dikirimkan untuk mengaktifkan solenoid, sehingga jalur *bypass* terbuka. Sebaliknya, apabila tekanan berada di bawah nilai tersebut, maka solenoid akan tetap dalam kondisi tertutup.

4.6.2 Pembahasan Pressure

1. Sumbatan pada sistem distribusi oli telah menyebabkan tekanan menjadi tidak stabil. Tekanan sebesar 15,9 psi tercatat oleh sensor 1, sementara sensor 2 mencatat penurunan hingga 11 psi. Ketidakseimbangan ini mengakibatkan aliran oli tidak merata, sehingga proses pelumasan dan pendinginan tidak berlangsung secara optimal. Akibat terganggunya sirkulasi oli, suhu pada *shaft engine* meningkat dari 27,2°C menjadi 28,5°C dalam waktu 220 detik. Akumulasi panas tersebut berpotensi mempercepat degradasi oli, merusak seal, serta meningkatkan tingkat keausan pada komponen-komponen mesin.
2. Kebocoran pada sistem telah menyebabkan penurunan tekanan secara drastis, di mana sensor 2 mencatat tekanan serendah 8,5 psi pada awal pengujian. Oli keluar dari sistem sebelum mencapai komponen-komponen penting, sehingga pelumasan dan pendinginan menjadi terganggu. Hal ini menyebabkan suhu *shaft engine* meningkat dari 27,2°C menjadi 29,8°C karena volume oli yang menyerap panas menjadi sangat minim. Kondisi tersebut mempercepat kerusakan pada oli, meningkatkan risiko kegagalan seal, serta mempercepat keausan komponen mesin.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merealisasikan perancangan dan manufaktur alat peraga sistem distribusi oli pada gas *turbine*

engine sebagai media pembelajaran yang edukatif, representatif, dan aplikatif. Proses perancangan telah dilakukan secara sistematis dengan mempertimbangkan aspek teknis, seperti akurasi model, pemilihan material transparan untuk kebutuhan visualisasi, kemudahan perakitan, serta efektivitas alat dalam mendukung pembelajaran interaktif.

Tiga tujuan utama telah berhasil dicapai melalui implementasi alat peraga ini. Pertama, gambar kerja teknis telah dirancang secara detail untuk komponen seperti *oil tank*, *oil pump*, *shaft engine*, *accessory gearbox*, *oil cooler*, dan *fuel tank*, yang kemudian dijadikan acuan dalam proses produksi. Kedua, sistem pelumasan telah disusun dalam bentuk skematik lengkap, menampilkan alur oli dari tangki, melalui komponen utama, dan kembali ke tangki, serta dilengkapi dengan fungsi penyaringan dan pendinginan. Ketiga, manual pengoperasian telah disusun secara sistematis agar dapat digunakan oleh pengguna untuk memahami cara kerja alat, baik secara mandiri maupun dalam sesi praktikum.

Berdasarkan hasil pengujian, alat peraga terbukti mampu berfungsi dengan baik, termasuk saat dilakukan simulasi gangguan seperti sumbatan dan kebocoran. Perubahan tekanan dan suhu berhasil ditampilkan secara jelas, sehingga memperkuat nilai edukatif alat ini sebagai media pembelajaran dalam bidang teknik aeronautika. Dengan demikian, alat peraga ini tidak hanya dapat berfungsi secara mekanis, tetapi juga mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem pelumasan *gas turbine engine* secara visual, praktis, dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan ini teruntuk Alfian Branantyo, M. Miftah Rasyid, Bapak Asep, serta seluruh pihak yang telah membantu penulis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rukhmana, T. (2021). Jurnal Edu Research Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (Iicls). Jakarta: Jurnal Edu Research, Vol. 2, No. 2, Hlm. 28–33.
2. Satrijo, D., & Fitrianto, F. (2017). Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur. Semarang: Jurnal Rotasi, Vol. 19, No. 2, Hlm. 68–71. <https://doi.org/10.14710/Rotasi.19.2.68-71>
3. Widiyanto, E. Y., & Hartopo, H. (2016). Analisis Terjadinya High Oil Consumption Pada Lubrication System Pesawat Boeing 737-500 Pk-Ggf. Surakarta: Jurnal Indept, Vol. 6, No. 1, Hlm. 9–15.
4. Bass, E. L. (1935). Aircraft Engine Lubrication. Usa: Journal Of Aeronautical Sciences, Vol. 2, No. 4, Hlm. 171–174. <https://doi.org/10.2514/8.105>
5. Utomo, P. (2022). Modifikasi Dan Rancang Bangun Alat Distribusi Oli. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
6. Faturrachman, I. P. (2016). Lubrication System Pada Auxiliary Power Unit (Apu). Yogyakarta: Jurnal Teknik Sttkd, Vol. 3, No. 1, Hlm. 41–56.
7. Azwad, F., Kadir, M. A., & Raharjo, M. A. (2023). Analisis Viskositas Oli Pesawat King Air Di Hanggar Politeknik Penerbangan Makassar. Makassar: Jamets, Vol. 2, No. 2, Hlm. 53–62. <https://doi.org/10.46509/Jamets.V2i2.446>
8. Permana, J. U. (2021). Analisis Perbandingan Pemakaian Oli Pelumas Pada Engine Pesawat Terbang Jenis Cfm56-7 Dan Engine Cfm Leap-1b. Jakarta: Jurnal Teknik, Vol. 10, No. 2, Hlm. 1–9. <https://doi.org/10.31000/Jt.V10i2.5221>
9. AMM. (2021). Chapter 79. [Manual Pemeliharaan Pesawat]. <https://doi.org/10.2307/J.Ctv1f8xcdf.84>
10. Jafari, S., Bouchareb, A., & Nikolaidis, T. (2020). Thermal Performance Evaluation In Gas Turbine Aero Engines Accessory Gearbox. Switzerland: International Journal Of Turbomachinery, Propulsion And Power, Vol. 5, No. 3. <https://doi.org/10.3390/Ijtp5030021>
11. R., & Kurz, B. K. (2016). Gas Turbine Performance. Asia Turbomachinery And Pump Symposium, 2016 Proceedings.
12. Manual, T. (N.D.). Oil System. [Dokumen Teknik Internal].
13. Aubuchon, D., & Campbell, J. (2016). Cfm56-3 Turbofan Engine Description. Cincinnati: General Electric Aviation.
14. Muhsin, A., & Pratama, Z. (2018). Analisis Efektivitas Mesin Cooling Tower Menggunakan Range And Approach. Jakarta: Jurnal Opsi, Vol. 11, No. 2, Hlm. 119. <https://doi.org/10.31315/Opsi.V11i2.2552>
15. Riyadi, S. (2024). Analisis High Oil Consumption Pada Pesawat Airbus 330 Dengan Menggunakan Metode Six Sigma Dengan Konsep Fmea (Failure, Measure, Analyze, And Evaluate). Tangerang: Jurnal Teknik Mesin, Vol. 8, No.